

EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS DE ARCILLA DEL TITULO MINERO 164-20
"EL CIELO", MUNICIPIO DE VALLEDUPAR-CESAR

KATHERIN JULIETH DUARTE DIAZ

FUNDACION UNIVERSITARIA DEL AREA ANDINA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA GEOLOGICA
VALLEDUPAR, CESAR
2018

EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS DE ARCILLA DEL TITULO MINERO 164-20
"EL CIELO", MUNICIPIO DE VALLEDUPAR-CESAR

KATHERIN JULIETH DUARTE DIAZ

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Geólogo

Director del trabajo
FABIO ENRIQUE CARRILLO BOLAÑO
Ingeniero Geólogo

FUNDACION UNIVERSITARIA DEL AREA ANDINA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA GEOLOGICA
VALLEDUPAR, CESAR
2018

NOTA DE ACEPTACION

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Valledupar, 18 de julio de 2018

A DIOS, A MIS PADRES,
MIS HERMANOS Y A
MI SOBRINO MATHIAS.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mis agradecimientos a:

La Alcaldía Municipal de Valledupar, por brindarme la oportunidad de complementar mi formación como profesional.

Al Ing. Fabio Enrique Carrillo Bolaño, por brindarme su amistad y mostrar tanto interés por ayudarme con este proyecto, por sus consejos, tiempo, conocimiento y paciencia.

Al Ing. Jaime Segundo Manjarrez Cogollo, por su disposición y ayuda en los temas geofísicos que permitieron darle forma a la investigación y sus aportes para la interpretación de los datos.

Agradecer especialmente la colaboración y entrega del Ing. Washington Rozo, por apoyarme, brindarme sus herramientas y compartir sus conocimientos.

Por ultimo a mi amigo y colega José Jorge Amarís por ser incondicional y tener siempre disposición para colaborarme.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	11
1. PRESENTACION DE LA EMPRESA	12
1.1 BREVE RESEÑA HISTORICA	12
1.2 ASPECTOS ESTRATEGICOS	14
1.2.1 Misión	14
1.2.2 Visión.....	14
1.3 FUNCIONES.....	15
1.4 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL	16
2. INFORME DE PRÁCTICA.....	18
2.1 DESCRIPCIÓN DE LA DEPENDENCIA EN LA QUE SE REALIZÓ LA PRACTICA	18
2.2 INFORME DE GESTION	19
3. PROPUESTA DE INVESTIGACION	20
3.1 TITULO	20
3.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	20
3.3 FORMULACION DEL PROBLEMA	20
3.4 JUSTIFICACION DE LA PROPUESTA	21
3.5 OBJETIVOS.....	22
3.5.1 Objetivo General.....	22
3.5.2 Objetivos Específicos	22
4. MARCO DE REFERENCIA.....	23
4.1 MARCO DE ANTECEDENTES	23
4.2 MARCO TEORICO	24
4.2.1 Método de tomografía eléctrica	25
4.2.2 Resistividad de los materiales	26
4.2.2 Límites de Atterberg	28
5. METODOLOGIA.....	30
5.1 FASE PREVIA	31
5.2 FASE DE CAMPO	33

5.3 FASE DE OFICINA	34
6. MARCO GEOGRAFICO	38
6.1 LOCALIZACION	38
6.2 RUTAS DE ACCESO.....	41
6.3 VEGETACION	42
6.4 CLIMA.....	42
6.5.1 Región de la Sierra Nevada de Santa Marta	45
6.5.1 Región Planicie del Cesar	46
6.6 GEOLOGIA LOCAL	49
6.7 GEOMORFOLOGIA.....	49
7. RESULTADOS.....	51
7.1 MUESTREO	51
7.1.1 Muestra KDD-01	53
7.1.2 Muestra KDD-02	54
7.1.3 Muestra KDD-03	56
7.1.4 Perfil de suelo.....	57
7.2 DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE ATTERBERG	58
7.3 TOMOGRAFIA ELECTRICA.....	67
7.3.1 Perfil de tomografía de resistividad eléctrica N° 1	71
7.3.2.....	73
7.4 CALCULO DE RECURSO	76
8. CRONOGRAMA.....	78
9. LOGROS ALCANZADOS.....	79
9.1 IMPACTOS PERCIBIDOS POR EL ESTUDIANTE	79
9.2 LIMITACIONES	80
10. CONCLUSIONES	81
11. RECOMENDACIONES	82
REFERENCIAS	83
ANEXOS.....	85

LISTAS DE TABLAS

Tabla 1. Documentos consultados en la revisión bibliográfica.....	32
Tabla 2. Coordenadas de título minero 164-20 cantera "El Cielo". Fuente: Agencia Nacional de Minería (ANLA).	39
Tabla 3. Puntos correspondientes a la toma de muestras.	51
Tabla 4. Datos de límite líquido y límite plástico obtenidos en laboratorio para la muestra KDD-01.	59
Tabla 5. Datos de límite líquido y límite plástico obtenidos en laboratorio para la muestra KDD-02.	62
Tabla 6. Datos de límite líquido y límite plástico obtenidos en laboratorio para la muestra KDD-03.	65
Tabla 9. Datos implementados en el cálculo de recurso.....	77
Tabla 10. Cronograma de actividades llevadas a cabo durante el proyecto.	78
Tabla 11. Logros alcanzados durante el desarrollo del proyecto.	79

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Organigrama de la Alcaldía de Valledupar. Fuente: Alcaldía municipal de Valledupar.....	17
Figura 2. Valores de resistividad para diferentes rocas y minerales. Fuente: Orellana (1982).....	28
Figura 3. Metodología implementada para la Evaluación de los Recursos de Arcilla. Fuente: Autora.	31
Figura 4. Equipo de tomografía MINISTING IP utilizado en campo. Fuente: Autora.	34
Figura 5. Pasos implementados para la obtener los límites de Atterberg, basados en la normas I.N.V. E-125 e I.N.V.E-126. Fuente: Autora.....	36
Figura 6. Determinación de la densidad en campo por medio del método del cono y arena, norma I.N.V E-161. Fuente: Autora.....	37
Figura 7. Localización de la cantera "El Cielo" dentro del municipio de Valledupar. Fuente de apoyo Arcmap10.5 y Google Earth.	40
Figura 8. Ruta de acceso a la cantera el cielo partiendo de la ciudad de Valledupar. Fuente de apoyo Google Earth.....	41
Figura 9. Mapa geológico de las dos zonas características de Valledupar. Fuente: Autora.	44
Figura 10. Mapa geológico de la zona de estudio. Fuente: Autora.	50
Figura 11. Ubicación de los puntos muestreados. Los triángulos rojos indican las zonas donde fueron tomadas las muestras analizadas. Fuente: Autora.....	52
Figura 12. Horizontes del suelo del frente de explotación de arcillas, donde se obtuvo la muestra KDD-01.....	54
Figura 13. Horizontes del suelo del frente de explotación de arcillas, donde se obtuvo la muestra KDD-02.....	55

Figura 14: Horizontes del suelo en el frente de explotación de arcillas donde se obtuvo la muestra KDD-03.....	57
Figura 15. Perfil de suelo del aluvial que contiene las arcillas en la Cantera El Cielo. Fuente: Autora.	58
Figura 16. Determinación del límite líquido para la muestra KDD-01.	60
Figura 17. Clasificación de la muestra de suelo KDD-01 en la carta de plasticidad de Casagrande.	61
Figura 18. Determinación del límite líquido para la muestra KDD-02.	63
Figura 19. Clasificación de la muestra de suelo KDD-02 en la carta de plasticidad de Casagrande.	64
Figura 20. Determinación del límite líquido para la muestra KDD-03.	66
Figura 21. Clasificación de la muestra de suelo KDD-03 en la carta de plasticidad de Casagrande.	67
Figura 22. Distribución de los electrodos por los métodos Schlumberger y Dipolo-Dipolo. Fuente: Epyesa.....	69
Figura 23. Ubicación de las líneas utilizadas en la tomografía eléctrica, la línea amarilla corresponde a la tomografía N°1 y la línea azul es la tomografía N°2. Fuente: Google Earth.....	70
Figura 24. Perfil de tomografía de resistividad eléctrica N° 1. Fuente: Autora.....	72
Figura 25. Perfil de tomografía de resistividad eléctrica N° 1. Fuente: Autora.....	74
Figura 26. Agua estancada en frentes muy arcillosos debido a la lluvia en el área de explotación.....	76

INTRODUCCIÓN

Hacia las afueras del casco urbano del municipio de Valledupar se están llevando a cabo actividades mineras para la extracción y aprovechamiento de las arcillas dispuestas en superficie, las cuales son aprovechadas como materia prima principalmente para la fabricación de ladrillos. Estas arcillas hacen parte de la composición del aluvial que pertenece a la Planicie del Cesar, constituidos por una secuencia de capas de arcillas, arenas y gravas de texturas finas a gruesas.

El objetivo principal de esta investigación consiste en evaluar los recursos de arcilla presentes en el título minero 164-20 de la cantera El Cielo, que constituyen la fuente de empleo y sustento de muchas familias. Por medio de una tomografía eléctrica con el equipo de resistividad MINISTING IP, conocer la profundidad del aluvial en la zona de estudio y determinar los estratos arcillosos que puedan ser aprovechados por la Cooperativa de alfareros de la vereda El Cielo. Teniendo en cuenta que este recurso natural corresponde el sustento de muchas familias que día a día fabrican ladrillos mediante minería artesanal y que los procedimientos que manejan son empíricos, se hace necesario incrementar el conocimiento científico que permita evaluar los recursos disponibles, además realizar ensayos de laboratorio para caracterizar el comportamiento de las arcillas a partir de los límites de consistencia, que permiten medir la cohesión del terreno y su contenido de humedad.

1. PRESENTACION DE LA EMPRESA

La presente información corresponde la reseña histórica, aspecto estratégico, funciones y estructura organizacional de la Alcaldía Municipal de Valledupar, ente donde fue llevada a cabo la práctica empresarial. Así como la dependencia donde ésta se realizó, informe de gestión y logros alcanzados.

1.1 BREVE RESEÑA HISTORICA

La Ciudad de los Reyes del Valle de Upar –nombre original con el cual se conoció desde sus orígenes-, fue fundada inicialmente el primero de octubre de 1544, por el capitán Francisco Salguero, quien sin mandato oficial alguno, decidió establecer a orillas del río Guatapurí, en las tierras de los indios Eupari.

La fundación definitiva de la ciudad le correspondió al también Capitán Hernando de Santana, el seis de enero de 1550, quien en advocación a la fecha religiosa que se celebra ese día y en reconocimiento al Cacique Upar, jefe de la tribu que poblaba la región, le dio el nombre de Ciudad de los Reyes del Valle de Upar.

La afirmación hecha por José Nicolás de la Rosa en ‘La Floresta’, de la Iglesia Catedral y Provincia de Santa Marta, en la cual señala que el origen de la ciudad está ligado a la necesidad de un sitio estratégico desde donde se pudiera explotar la ganadería que en esos momentos cimarrona, abundaba en el Valle. De esa manera, como primera fundación hecha en el interior de la Provincia de Santa Marta, Valledupar se convierte en punto de referencia obligado de cualquier acción que se intente desarrollar en esta región durante el periodo colonial y será al mismo tiempo el primer punto de contacto y referencia de las comunicaciones de Santa Marta con el interior de Tierra Firme.

La ciudad fue erigida parroquia en 1560, bajo la regencia de los padres Dominicos, que habían establecido allí el primer convento desde 1555, en una misión adelantada en toda la Provincia de Santa Marta, de la cual hicieron parte Fray Luis Vero y San Luis Beltrán. Esa categoría la mantuvo durante el periodo colonial y solo cambió a partir de La República, cuando llegó a ser capital de la provincia de Valledupar de conformidad con la Ley 15 de abril de 1850, siendo ratificada su condición de provincia, al ser proveída de constitución propia por parte de la Cámara Provincial, el 19 de noviembre de 1853; posteriormente elevada a capital del departamento de Valledupar del Estado Federal del Magdalena, de acuerdo con la Ley 29, de diciembre de 1864.

En 1875, a raíz de algunas desavenencias con el gobierno de Santa Marta, la Corporación Municipal de La Paz, destituyó al Presidente Riascos, nombrando en su reemplazo al valduparense Antonio J. Maya, quien declaró a la ciudad de Valledupar como Capital del Estado Soberano, categoría que ostentó entre el 12 de julio y el 11 de octubre de dicho año, periodo durante el cual mantuvo la sede presidencial del Estado, que estuvo localizada en el sitio conocido hoy como Restaurante Callejón de La Estrella. Debido a su trágica muerte. Maya solo alcanzó a gobernar 49 días, siendo reemplazado por Manuel Dávila, quien retornó la sede del gobierno de Santa Marta.

La Provincia de Valledupar de conformidad con la ley 15 de 1850, y fue elevada a capital del departamento del Valle de Upar del Estado Soberano del Magdalena de acuerdo con la ley 29 de diciembre de 1864. Al reestructurarse la división político-administrativa del Estado Unitario colombiano, fue erigida como municipio del departamento del Magdalena según la ordenanza número 57 de 1915, la cual estableció su extensión y límites. Al crearse el departamento del Cesar mediante la ley 25 de 1967, Valledupar fue escogida como su capital [1].

[1] ALCALDÍA DE VALLEDUPAR. Actualizado: 5 de febrero de 2016. Información general [en línea] Disponible en: <http://www.valleduparcesar.gov.co/informacion_general.shtml>

1.2 ASPECTOS ESTRATEGICOS

1.2.1 Misión

Propendiendo por el fortalecimiento, transformación y modernización de la Administración Central Municipal, se adopta la siguiente Misión para la Alcaldía de Valledupar:

“Asegurar el bienestar de la comunidad del Municipio de Valledupar, mediante la elaboración y adopción de planes, programas y proyectos, asignándoles recursos con criterios de prioridad, equidad, solidaridad y sostenibilidad, propiciando la vinculación de organismos nacionales e internacionales públicos y privados para lograr las metas propuestas en el Plan de Desarrollo Municipal.”

1.2.2 Visión

A fin de concretar una positiva proyección del Municipio de Valledupar, se adopta la siguiente Visión:

"La Alcaldía de Valledupar aspira que el Municipio sea reconocido por implementar y sostener un esquema de desarrollo participativo con la comunidad en la prestación de los servicios básicos y lograr su proyección regional y nacional, creando opciones y oportunidades para todos."

1.3 FUNCIONES

Corresponde a la Administración Central Municipal de Valledupar, además de las funciones estipuladas en el artículo 3 de la Ley 136 de 1994, las siguientes:

- Interpretar la voluntad soberana de sus habitantes y en el marco de la Constitución, la ley y el Reglamento, asumir la debida consecuencia con sus mandatos.
- Velar por la preservación del territorio municipal y sus riquezas naturales, afín de que ellos sirvan y beneficien a los habitantes del Municipio de Valledupar, asegurando el progreso de la entidad territorial, sin perjuicio de las intervenciones que para efecto de su explotación, usos, distribución y consumo disponga la ley.
- Administrar los asuntos municipales y prestar los servicios públicos que determine la ley.
- Ordenar el desarrollo de su territorio y construir las obras que demande el progreso municipal.
- Promover la participación comunitaria y el mejoramiento social y cultural de sus habitantes.
- Planificar el desarrollo económico, social y ambiental de su territorio, de conformidad con la ley y en coordinación con otras entidades.
- Solucionar las necesidades insatisfechas de salud, educación, saneamiento ambiental, agua potable, servicios públicos, domiciliarios, vivienda, recreación y deporte, con especial énfasis en la niñez, la mujer, la tercera edad y los sectores discapacitados, directamente y en concurrencia, complementariedad y coordinación con las demás entidades territoriales y la nación, en los términos que defina la ley.
- Velar por el adecuado manejo de los recursos naturales y del medio ambiente, de conformidad con la ley.

- Promover el mejoramiento económico y social de los habitantes del respectivo municipio.
- Hacer cuanto pueda adelantar por sí mismo en subsidio de otras entidades territoriales, mientras éstas proveen lo necesario.
- Las demás que le señalen la Constitución y la ley.

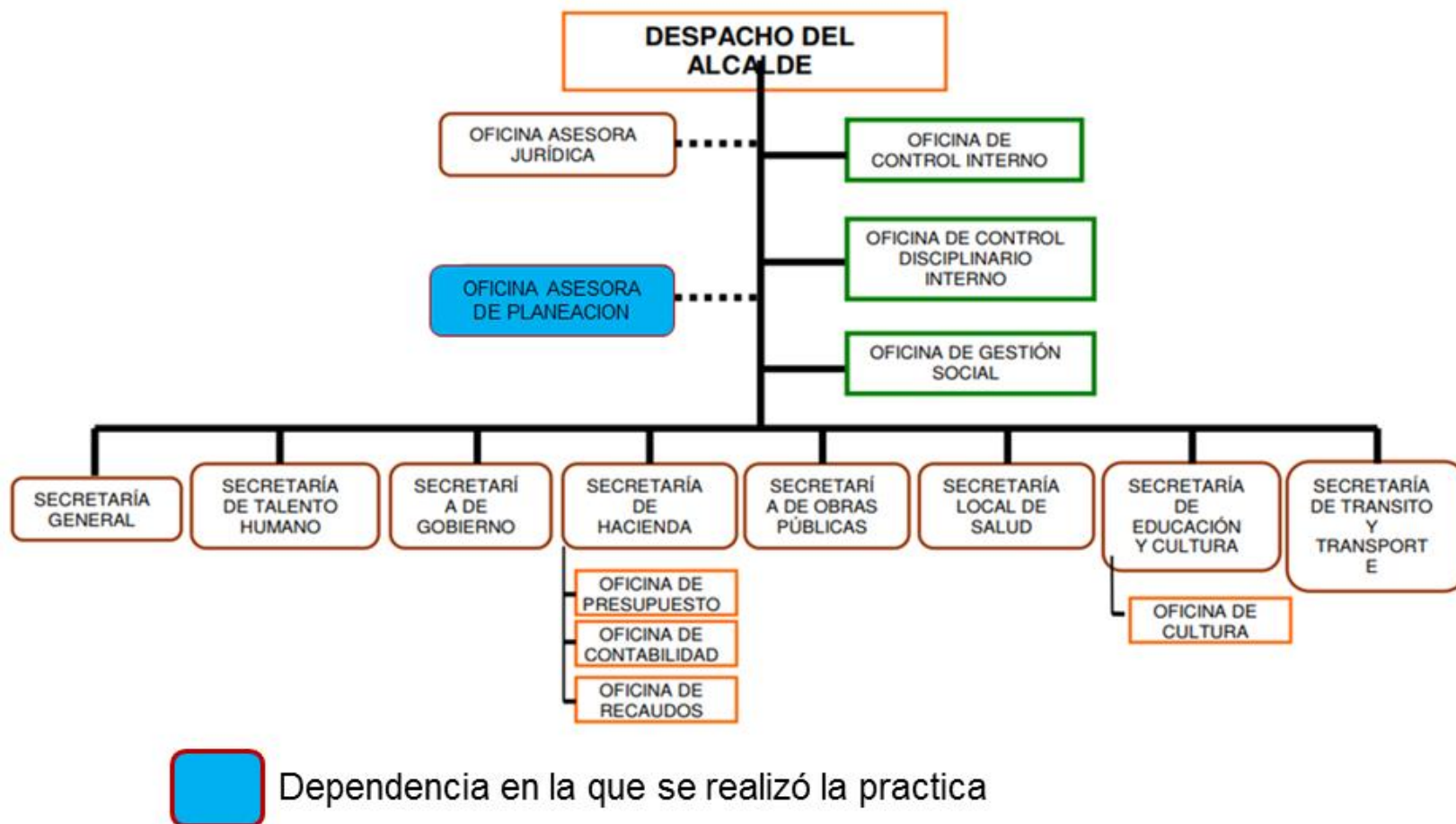
1.4 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

La Estructura Orgánica de la Administración Central Municipal de Valledupar constituye el medio a través del cual el Estado responde, en este nivel territorial, a las necesidades de la sociedad civil, con base en la aplicación efectiva de los principios y criterios expresados y actuando como un conjunto armónico que ejerce funciones administrativas de conformidad con la Constitución y la Ley [2].

El Organigrama representa gráficamente la estructura administrativa Alcaldía Municipal de Valledupar como se muestra en la figura 1.

[2] ALCALDIA MUNICIPAL DE VALLEDUPAR EN CESAR. Manual Funciones. [en línea]. Disponible en: http://valleduparcesar.micolombiadigital.gov.co/sites/valleduparcesar/content/files/000021/1045_manuel_funciones_completo.pdf

Figura 1. Organigrama de la Alcaldía de Valledupar. Fuente: Alcaldía municipal de Valledupar.



2. INFORME DE PRÁCTICA

2.1 DESCRIPCIÓN DE LA DEPENDENCIA EN LA QUE SE REALIZÓ LA PRACTICA

La práctica empresarial se desarrolló en la alcaldía de Valledupar, en la oficina de planeación municipal, más específicamente en el área ambiental. Durante ésta se realizaron visitas técnicas a las diferentes minas que se encuentran dentro del municipio de Valledupar, en compañía de Ingenieros de minas e Ingenieros ambientales, para realizar el debido seguimiento, supervisión y control legal de cada cantera, asegurando que la minería existente es legal y que cuentan con la documentación requerida y vigente. Esta documentación incluyen la Licencia Ambiental, Plan de Trabajo y Obras (PTO), título minero vigente, permiso de INDUMIL para manejo de explosivos en caso de usarlos, el permiso RUCOM para la comercialización de los recursos explotados, permiso para el uso de maquinaria y asegurar que se encuentren dentro de los límites de explotación otorgados, entre otros permisos y documentaciones requeridas para este tipo de actividad minera.

También es necesario verificar que las personas que laboran en las minas cuenten con elementos de protección personal, señalización en el área de trabajo y que implementen una adecuada rehabilitación de las zonas aprovechadas. Posteriormente se realizan los informes en la oficina sobre las anomalías observadas, para ser reportados o comunicados a la Agencia Nacional de Minería (ANM), Corpocesar, a la Secretaria de Minas y también a los respectivos propietarios del título minero. Estos últimos reciben además las recomendaciones técnicas necesarias para el mejoramiento de sus instalaciones.

Todas estas funciones son asignadas debido a las obligaciones que debe cumplir el alcalde, ya que Según la ley 685 del 2001 del código de minas, los alcaldes

procederán a suspender la explotación de minerales que no estén inscritos en el Registro Minero Nacional hasta que las personas encargadas o explotadores presenten un título lícito.

2.2 INFORME DE GESTION

Las funciones asignadas durante la práctica consistieron en realizar acompañamientos a los Ingenieros de minas e Ingenieros ambientales a las diferentes minas dentro de municipio y asegurar que éstas tengan toda la documentación y permisos necesarios para la ejecución de las actividades mineras, tomar fotografías de evidencia y hacer firmar las planillas o actas de visita a las personas encargadas de la mina o de recibir a los funcionarios delegados para supervisar. Así como también, generar los informes con las observaciones realizadas, que posteriormente serían enviados a las diferentes entidades competentes. Adicionalmente se realizaron varios acompañamientos a los ingenieros ambientales en jornadas de limpieza y preservación del medio ambiente del municipio.

3. PROPUESTA DE INVESTIGACION

3.1 TITULO

EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS DE ARCILLA DEL TITULO MINERO 164-20
"EL CIELO", MUNICIPIO DE VALLEDUPAR-CESAR

3.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La actividad minera llevada a cabo en la cantera El Cielo es una minería artesanal a cargo tanto de los habitantes de esta vereda como del corregimiento de Valencia de Jesús. Esta labor es el sustento para los trabajadores y sus familias. Por tanto surge el interés de evaluar los recursos de arcilla del título en concesión para que por medio de un plan minero estas comunidades puedan aprovechar de manera más eficiente estos recursos y así puedan determinar la vida útil de la cantera.

3.3 FORMULACION DEL PROBLEMA

¿Cuáles son los recursos de arcilla existentes en el titulo minero 164-20 de la cantera El Cielo ubicada en el municipio de Valledupar- Cesar?

3.4 JUSTIFICACION DE LA PROPUESTA

Valledupar, es una ciudad que muestra altas tasas de desempleo debido a la carencia de grandes industrias y al incremento de la población que no tienen oportunidades laborales. Según el artículo del diario El Pilón: “el desempleo en Valledupar está por encima del promedio nacional, mientras que la tasa de desempleo nacional en el trimestre febrero-abril del 2017 fue de 9.7 %, la tasa de desempleo en Valledupar fue de 12.7 %. Así lo informó el departamento administrativo nacional de estadística, DANE, luego de la gran encuesta integrada de hogares del mercado laboral.”[3]. Por tanto, se requieren nuevas políticas que ayuden a enfrentar esta situación, para que mejoren los ingresos y a su vez la calidad de vida de la población.

Esta situación afecta de igual forma a los habitantes de los corregimientos o veredas ubicados a las afueras del casco urbano de Valledupar, quienes cuentan con menos oportunidades laborales, dada la poca preparación técnico/profesional con la que cuentan, por lo que son considerados como personal no capacitado para desenvolverse en las pocas áreas donde hay oportunidad laboral, esto ha generado que busquen sus ingresos a partir de otros medios como lo es la minería artesanal. Este es el caso de los habitantes de la vereda El Cielo y el corregimiento de Valencia de Jesús, donde la mayoría de la población se beneficia y genera su sustento diario a partir de la elaboración de ladrillos mediante el aprovechamiento de las arcillas disponibles en el área que abarca el título minero 164-20. Ésta población por no tener el conocimiento, ni contar con tecnología que les permita conocer el espesor ni las características del aluvial que contiene las arcillas para la construcción de los ladrillos, resulta importante evaluar los recursos de arcilla disponibles en el título minero para que la comunidad de alfareros los puedan aprovechar de manera eficiente como materia prima para la producción de

[3] BARRIGA R., Annelise. Desempleo en Valledupar está por encima del promedio nacional. En: El pilón. Valledupar (5, julio, 2017).

ladrillos que es el producto principal de fabricación. Y de esta manera poder establecer un plan de minería acorde con los recursos reales del área del título minero.

3.5 OBJETIVOS

3.5.1 Objetivo General

Evaluar los recursos de arcillas dentro del título minero 164-20 ubicado en la vereda El Cielo, municipio de Valledupar-cesar.

3.5.2 Objetivos Específicos

- Determinar el espesor del aluvial y las diferentes capas de arcilla que contiene, utilizando tomografía eléctrica.
- Identificar las propiedades físicas de las arcillas presentes en el área de estudio.
- Calcular los recursos de arcillas disponibles dentro del título minero.

4. MARCO DE REFERENCIA

A continuación se presentan las investigaciones previas y consideraciones teóricas en relación a la evaluación de los recursos de arcilla que sirvieron como base para alcanzar los objetivos propuestos en el proyecto.

4.1 MARCO DE ANTECEDENTES

Cotes, D., Núñez, D., Sabogal, L. (2012), Fundación Universitaria del Área Andina, Valledupar-Colombia. Presentaron el proyecto de investigación, titulado: determinación de la calidad de los ladrillos a partir de la estimación de la resistencia última en las canteras de Valencia de Jesús, Las Casitas y El Cielo, en el municipio de Valledupar, Cesar. Esta investigación tuvo como objetivo determinar la calidad de los ladrillos producidos en estas canteras, así como identificar en qué parte del proceso de elaboración del ladrillo se debe trabajar para que estos puedan ser certificados como de calidad. A partir de este estudio se logró conocer el proceso de elaboración de ladrillos implementado por los alfareros, así como las falencias en este proceso empírico desarrollado por ellos.

Javier Rey, Julián Martínez, José Ángel Mesa, Mari Carmen Hidalgo y José Benavente (2015), Sociedad Geológica de España publicó su artículo científico, titulado: utilización de la tomografía eléctrica para la ubicación de reservas mineras. Aplicación a un yacimiento de ofiolitas en la depresión del Guadalquivir (Jaén, Sur de España). Este estudio tuvo como objetivo analizar qué tan eficiente es el método de prospección eléctrica como herramienta complementaria en los estudios estratigráficos y además utilizar las técnicas geofísicas para determinar la

morfología y el tamaño de las masas ofiolíticas para así establecer el cálculo de reservas y por tanto la rentabilidad del yacimiento. A partir de este artículo, permitió entender la aplicación del equipo de tomografía y el software de interpretación utilizado para obtener los resultados, así como las resistividades características para las arcillas.

Zea, L. (2005). Presentó la tesis titulada: Caracterización de las arcillas para la fabricación de ladrillos artesanales. Este tuvo como objetivo la evaluación de las características físicas, mecánicas y químicas de los suelos que se utilizan en la producción de ladrillo cocido en las fábricas artesanales de la región del Tejar Chimaltenango para así determinar las propiedades y establecer una dosificación adecuada de la mezcla para obtener un producto de calidad. Con esta tesis fue posible analizar la manera de determinar las características físicas de las arcillas.

Cabal, J. (2014) presentó un estudio con asesoría de la consultoría de obras civiles CONSULCIVIL S.A.S, en este se llevaron a cabo estudios y diseños para la construcción de una Infraestructura Educativa tipo A (Mega Colegio) conformada por una estructura de dos (2) niveles de altura proyectada en un lote en el sector Urbanización Nando Marín en el casco urbano del municipio de Valledupar (Cesar). En este se hicieron diez perforaciones rotatorias que permitieron conocer el espesor y la composición del aluvial de Valledupar.

4.2 MARCO TEORICO

Para la evaluación de los recursos de arcilla en el título minero en concesión se hizo necesario llevar a cabo una prospección geoelectrica que permitiera conocer la composición y dimensiones de los materiales presentes en el subsuelo, para

ello se implementó el método de tomografía eléctrica a fin obtener un perfil 2-D que relacione la distancia y la profundidad mostrando la distribución de la resistividad real del subsuelo. Para la interpretación de este modelo fue necesario tener en cuenta los valores de resistividad de los diferentes materiales y los factores que contribuyen a que se presentes alteraciones en estos valores. Además, se aplican los Límites de Atterberg a las muestras obtenidas en el área con la finalidad de clasificar los suelos en función de su plasticidad.

4.2.1 Método de tomografía eléctrica

La tomografía eléctrica es una técnica geofísica para el estudio del subsuelo, que consiste en determinar la distribución de un parámetro físico característico del mismo (la resistividad) a partir de un número muy elevado de medidas realizadas desde la superficie del terreno (Telford *et al.*, 1990; Storz *et al.*, 2000) [4].

En la implementación del método se ponen en contacto varios electrodos con el suelo en línea recta, separados de tal forma que esa distancia escogida proporcione buena resolución y una profundidad adecuada que permita cumplir el objetivo de estudio, teniendo en cuenta que a menor separación habrá mayor resolución y también que a menor separación habrá más profundidad. Este método es muy utilizado para medir la resistividad eléctrica del suelo y consiste en inyectar corriente al suelo que queremos conocer a través de dos electrodos y luego se mide el voltaje resultante con otro par de electrodos. De ésta manera se obtiene un perfil de tomografía eléctrica con valores de resistividad a diferentes profundidades, los cuales corresponden a las capas de investigación. Los valores

[4] REY, J., MARTÍNEZ, J., MESA J., HIDALGO, M., Y BENAVENTE, J. (2015), Utilización de la tomografía eléctrica para la ubicación de reservas mineras. Aplicación a un yacimiento de ofiolitas en la depresión del Guadalquivir (Jaén, Sur de España). Sociedad Geológica de España. Geogaceta, 58, 127-130. Recuperado de: <http://rabida.uhu.es/dspace/bitstream/handle/10272/12074/Utilizacion.pdf?sequence=2>.

que son representados en los perfiles aparecen con diferentes colores para apreciar las variaciones verticales y horizontales que existan en la zona de estudio [5].

4.2.2 Resistividad de los materiales

La aplicación de los métodos geoelectricos exige un conocimiento básico de las propiedades eléctricas de las rocas, suelos y de los minerales que los constituyen. El comportamiento físico de las rocas depende de las propiedades y modo de agregación de sus minerales y de la forma, volumen y relleno (generalmente con agua o aire) de los poros. Además de esta relaciones conviene estudiar el efecto que sobre dichas propiedades ejercen la presión y la temperatura, efecto que puede ser muy importante a grades profundidades. Los valores de resistividad en una roca por consiguiente estarán determinados por su composición mineralógica, al igual que por su contenido de agua y las características de la misma (más salinidad implica mayor conductividad). Todo esto hace que la resistividad de cada tipo de roca presente una amplia variabilidad [6].

En el caso de los suelos es necesario tener en cuenta que la conductividad y la resistividad eléctrica son el resultado de dos componentes: uno, la conductividad electrónica, asociada al movimiento de electrones en los geomateriales por efecto de la excitación de la corriente eléctrica, y dos, la conductividad electrolítica por efecto de la cantidad y características de los iones presentes en los fluidos intersticiales, que explican la magnitud de los intervalos en los que puede variar la

[5] OCSA, Estudios Geofísicos S.L. Método de tomografía eléctrica [en line] Copyright 2016.[consultado: 27 de febrero de 2018]. Disponible en: <http://www.ocsa-geofisica.com/tomografia-electrica.html>.

[6] ARIAS, D. Exploración geotécnica- Relaciones geoelectricas. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2011. P.19.

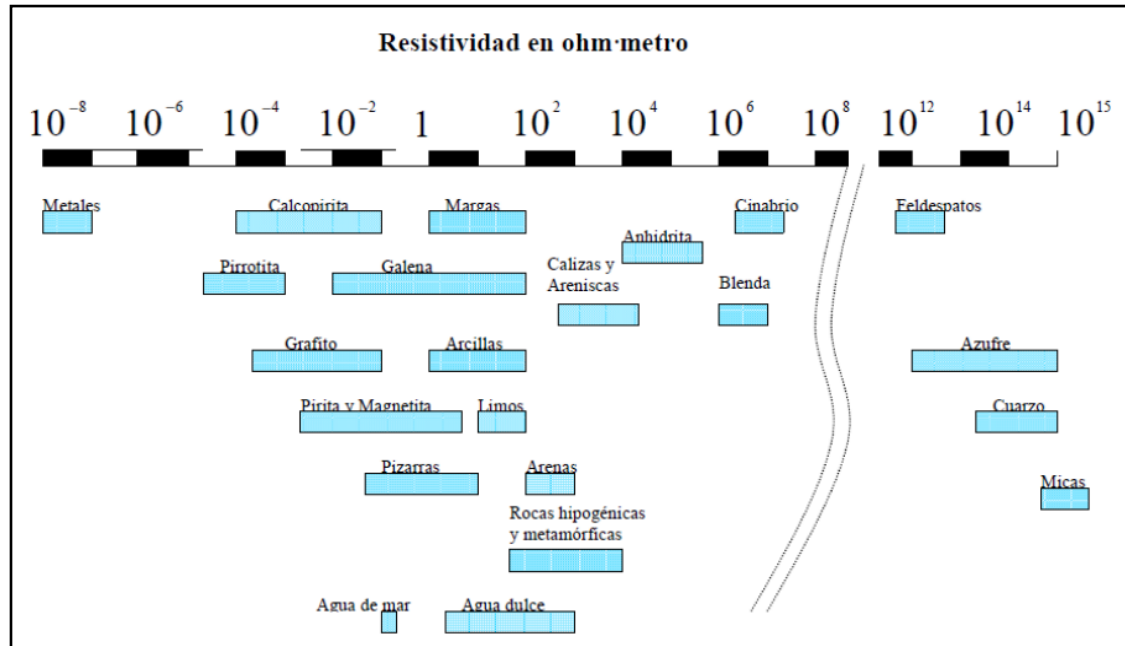
resistividad de un geomaterial en condiciones de campo. El primero de estos componentes explica la baja resistividad de las arcillas si se la compara con los limos, arenas y gravas. El segundo explica la variación de la resistividad en función de la humedad, de la saturación y del contenido de sales de los fluidos intersticiales de los geomateriales [7].

El suelo es una mezcla de partículas sólidas, gases, agua y otros materiales orgánicos e inorgánicos. Esta mezcla hace que la resistividad del suelo aparte de depender de su composición intrínseca, dependa de otros factores externos como la temperatura, la humedad, presión, etc. que pueden provocar que un mismo suelo presente resistividades diferentes con el tiempo. Entre todos los factores, la humedad es el más importante; además, es el que se puede alterar más fácilmente mediante la lluvia o el riego del suelo. Diferentes contenidos de humedad en un mismo terreno darían lugar a resistividades diferentes que podrían llevarnos a interpretaciones erróneas de los materiales constituyentes del suelo [8]. En la figura 2 se muestran valores típicos de resistividad de geomateriales.

[7] Ibid., p. 20

[8] Ibid., p. 22

Figura 2. Valores de resistividad para diferentes rocas y minerales. Fuente: Orellana (1982).



4.2.2 Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg son ensayos de laboratorio que dividen diferentes estados de consistencia de los suelos plásticos. Con ellos es posible clasificar el suelo en la Clasificación Unificada de Suelos (Unified Soil Classification System, USCS). Los suelos de grano grueso (gravas y arenas) se clasifican de acuerdo a su granulometría y los suelos de grano fino (limos y arcillas) en función de su plasticidad.

- Consistencia: “Facilidad relativa con la cual se puede deformar un suelo.”[9]

[9] INVIAS, normas y especificaciones, 2012 p. 125-2.

- Limite Líquido (LL): “Contenido de humedad del suelo, expresado en porcentaje, cuando se halla en el límite entre los estados líquido y plástico” [10]. Para su determinación se utiliza el material que pasa por el tamiz No. 40, donde una porción de muestra se extiende sobre una cazuela de bronce, esta se divide en dos partes con ayuda de un ranurador y se unen mediante golpes generados por la caída de la cazuela sobre una base. Para este método es necesario realizar el procedimiento 3 veces con diferentes contenidos de agua, estos resultados se grafican a partir de la relación contenido de humedad y numero de golpes para así obtener el límite líquido.
- Limite Plástico (LP): “Contenido de agua del suelo, expresado en porcentaje, cuando se halla en el límite entre el estado entre los estados plásticos y semisólidos. Es la humedad más baja con la cual se pueden formar rollos de suelo de 3mm de diámetro, sin que se agrieten o se desmoronen” [11]. Éste método se aplica al mismo material utilizado para la determinación del límite líquido y se determina presionando una porción de suelo hasta conseguir rollitos de 3mm de diámetro, hasta que su contenido de agua se reduce hasta que se agrieten o desmoronen estos rollos.
- Índice de plasticidad (IP): “Rango de contenidos de agua, dentro del cual un suelo se comporta plásticamente. Es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico” [12].

[10] Ibid., p. 125-2.

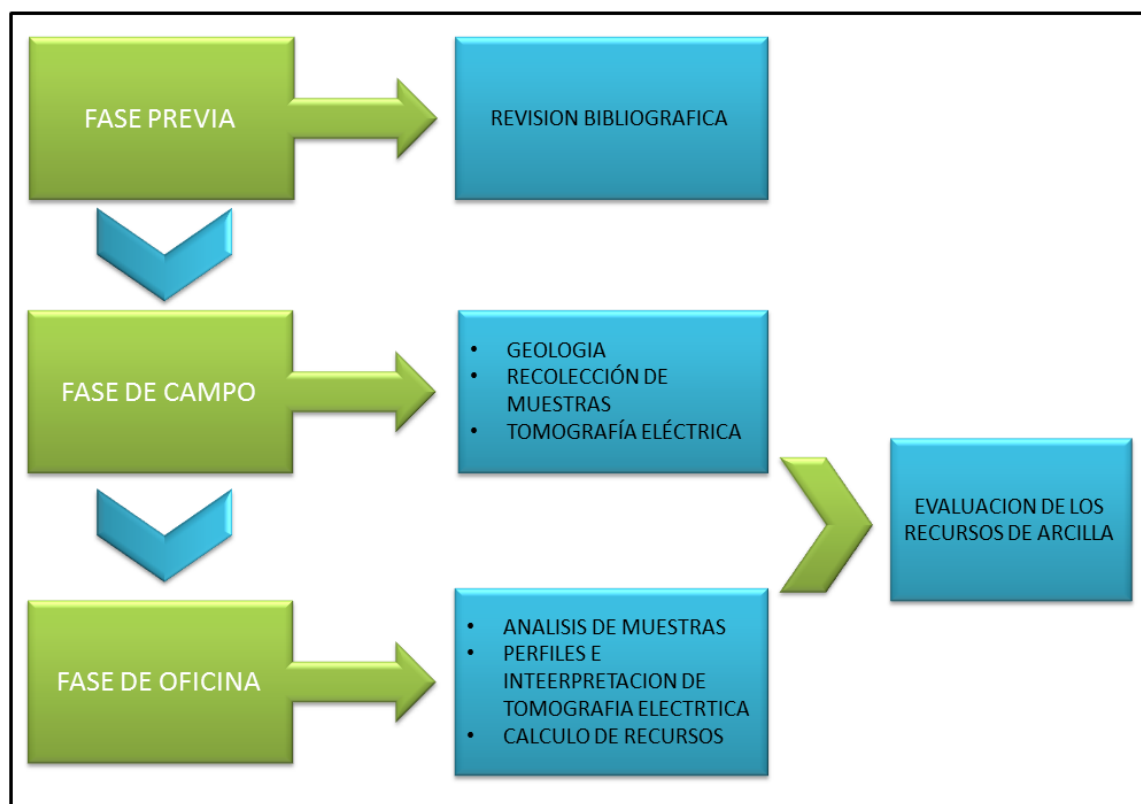
[11] Ibid., p. 126-2.

[12] Ibid., p. 126-2.

5. METODOLOGIA

Con la metodología implementada se busca evaluar de los recursos de arcilla del título minero 164-20 cantera El Cielo como se muestra en la figura 3, por medio de una metodología de diseño experimental con un enfoque mixto (cualitativo y cuantitativo). Para ello se divide la investigación en tres fases. Una fase previa, que consiste en recopilar información referente al tema, donde se incluye tanto los antecedentes como la geología del área. Luego la fase de campo, es aquella donde se realizan las visitas necesarias a la zona con el fin de reconocer el área, recoger información y muestras representativas. Aquí se incluye el método geofísico de tomografía eléctrica utilizado para obtener imágenes de resistividad del subsuelo para así determinar la continuidad y espesor de los estratos arcillosos necesarios para el cálculo de recursos. Finalmente se desarrolla la fase de oficina, donde se organiza e interpreta toda la información recolectada a lo largo del proceso de investigación, aquí se analizan las muestras, se presentan resultados, conclusiones obtenidas y recomendaciones.

Figura 3. Metodología implementada para la Evaluación de los Recursos de Arcilla. Fuente: Autora.



5.1 FASE PREVIA

Consiste en una amplia revisión bibliográfica acerca de investigaciones realizados en el área de interés y estudios relacionados con el método de tomografía eléctrica, la determinación de las propiedades físicas de las arcillas y el cálculo de recursos para estas como se muestra en la tabla 1. Además se realizó la georreferenciación del área en el software Arcgis, utilizando la topografía y geología de la plancha 34 obtenidas del IGAC y SGC respectivamente, donde se logró obtener un mapa geológico para estar ubicados dentro del área y así conocer las unidades geológicas presentes.

Tabla 1. Documentos consultados en la revisión bibliográfica.

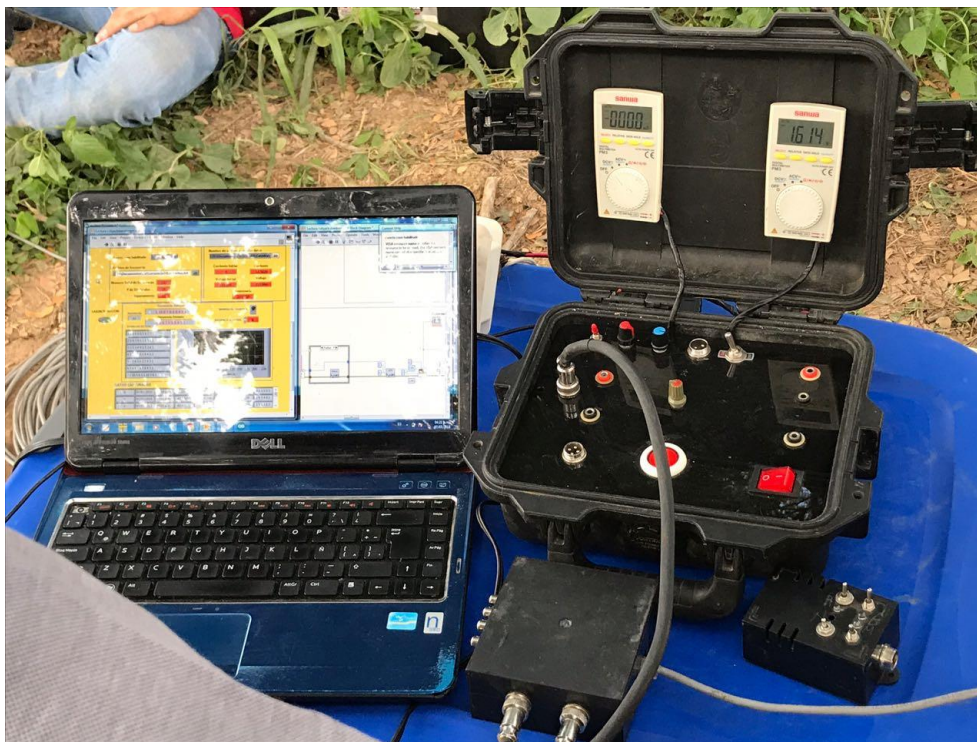
Tipo de documento	Titulo	Autor y año	Objetivos
INFORME	Cartografía geológica y muestreo geoquímico de la parte norte de la serranía de Perijá planchas 21, 22, 27, 28, 34 y 35	INGEOMINAS(2010)	<ul style="list-style-type: none"> • División y caracterización litoestratigráfica de las unidades geológicas aflorantes en el área • Levantamiento estratigráfico y el análisis facial de las formaciones Paleozoicas y Meso – Cenozoicas. • El muestreo petrográfico, paleontológico y geoquímico
Articulo	Caracterización hidrométrica de las arcillas utilizadas en la fabricación de productos cerámicos en Ocaña, Norte de Santander.	Ricardo Andrés García León, Rafael Bolívar León (2017)	<ul style="list-style-type: none"> • determinar los porcentajes de arenas, limos y arcillas; para ser ubicados en el diagrama de Winkler y así identificar los tipos de arcillas existentes según su textura y el tipo de producto que se puede fabricar.
Tesis de grado	Caracterización de las arcillas para la fabricación de ladrillos artesanales	Norma Lissette Zea Osorio (2005)	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluar las características físicas, mecánicas y químicas de los suelos que se utilizan en la producción de ladrillo. • Establecer una dosificación adecuada de la mezcla, para obtener un producto de calidad.
Articulo	Utilización de la tomografía eléctrica para la ubicación de reservas mineras. Aplicación en un yacimiento de ofiolitas en la depresión de Guadalquivir (Jaén, sur de España)	Javier Rey, Julián Martínez, José Ángel Mesa, Mari Carmen Hidalgo y José Benavente (2015)	<ul style="list-style-type: none"> • Analizar la eficacia del método de tomografía eléctrica, como herramienta complementaria en los estudios estratigráficos, para analizar la estructura interna de los cuerpos geológicos.

5.2 FASE DE CAMPO

En esta fase, se realizan visitas a la cantera El Cielo donde se lleva a cabo la recolección de muestras necesarias. Se emplea un muestreo tipo aleatorio en los frentes de explotación donde se encuentra expuestos los diferentes horizontes del suelo que son empleados para la elaboración de ladrillos, a partir de cada uno de estos se obtienen tres muestras de suelo de 5 kg para analizar sus límites de consistencia por medio de los límites de Atterberg y clasificarlas en la carta de plasticidad de Casagrande.

Con el equipo de resistividad MINISTING IP (figura 4) se realizó una exploración en campo por medio de tomografía eléctrica, esta permitió medir la resistividad del subsuelo inyectando corriente eléctrica y midiendo el voltaje resultante para así obtener imágenes de resistividad de las estructuras del suelo y conocer las variaciones tanto verticales como horizontales que se presentan en el área así como el tipo de material presente. En total se realizaron dos tomografías eléctricas, en la primera fueron usados 24 electrodos en total, distribuyéndose en el suelo cada 10 metros para obtener un perfil que abarque una longitud de 230 metros y una profundidad de total 48 metros. Para la segunda fueron usados 16 electrodos en su totalidad, distribuyéndose cada 5 metros para obtener un perfil con una longitud de 80 metros y una profundidad hasta de 16 metros. Siendo esta el área analizada por medio de la tomografía.

Figura 4. Equipo de tomografía MINISTING IP utilizado en campo. Fuente: Autora.



5.3 FASE DE OFICINA

- **Análisis de muestras:** Se realizaron ensayos de laboratorio para caracterizar el comportamiento de las arcillas a partir de los límites de consistencia, que permiten medir la cohesión del terreno y su contenido de humedad. La aplicación de los límites de Atterberg se hizo siguiendo la norma I.N.V. E-125 para la determinación del límite líquido y la norma I.N.V. E-126 para el límite plástico e índice de plasticidad, aplicado a las partículas que pasan el tamiz No.40, como se muestra en la figura 3.

Para la determinación de los límites de Atterberg, inicialmente se pasa la muestra por el tamiz No. 40 para utilizar el material que lo atraviesa. Para determinar el

límite líquido, se pesan 3 capsulas y una tara con 100 g de muestra que pasa el tamiz No. 40. A los 100 g de muestra inicialmente se le agregan de 10 a 20 ml de agua y se revuelve hasta conseguir una pasta. Si aún necesita más agua, se le va agregando de 1 a 3 ml. Posteriormente, Se verifica que esté calibrada la altura de la cazuela del Casagrande que debe ser de 1cm. Se añade el material a la cazuela de Casagrande y se ranura por la mitad, después se golpea 2 veces por segundo hasta que esa abertura se cierre y se cuenta el número de golpes requeridos para el cierre. Esa muestra la llevamos a una capsula previamente pesada y la pesamos con la muestra húmeda para obtener así el peso húmedo, este procedimiento se repite 3 veces para obtener 3 puntos con diferentes estados de humedad uno en el que su estado de humedad lleve a un cierre entre los 25 y 35 golpes, otro en el rango entre 20 y 30 golpes y finalmente uno entre 15 y 25 golpes.

Luego para obtener el límite plástico se pesan dos capsulas, se humedece la muestra y con ayuda de la mano y una superficie llevamos varias porciones a 3mm de diámetro hasta que se observe fisura en ellos, luego son colocados en un recipiente para ser pesados.

Todas las muestras son secadas en el horno por 24 horas para determinar el peso seco.

- Perfiles e interpretación de tomografía eléctrica: La información de resistividades obtenida en campo fue interpretada por medio del software RES2DINV. A partir de este se obtuvo los dos Perfiles de tomografía donde se observa la profundidad, longitud y escala de colores indicado las variaciones de material.
- Calculo de recursos: El cálculo de recurso se realizó teniendo en cuenta el espesor de la capa de arcilla del aluvial obtenidos con la tomografía eléctrica y el valor de la densidad determinada en campo por medio del método del cono y arena según la norma I.N.V.I. E-161 como se muestra en la figura 5. Con esta

información se calculan de forma manual los recursos disponibles en la zona, donde el producto del área del título minero y el espesor obtenido del perfil de tomografía eléctrica nos da el volumen del área y éste multiplicado por la densidad de la arcilla del aluvial obtenida en campo nos da los recursos en toneladas disponibles.

- Redacción del informe: Una vez obtenidos los resultados, se organiza la información, se plantearon las conclusiones y recomendaciones en base a la problemática planteada.

Figura 5. Pasos implementados para la obtener los límites de Atterberg, basados en la normas I.N.V. E-125 e I.N.V.E-126. Fuente: Autora.



Figura 6. Determinación de la densidad en campo por medio del método del cono y arena, norma I.N.V E-161. Fuente: Autora.



6. MARCO GEOGRAFICO

Valledupar es la capital del departamento del Cesar, Colombia. Tiene una extensión de 4.493 km², cuenta con 423.260 habitantes y está conformado por 25 corregimientos y 102 veredas. Se encuentra ubicada en las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta a la margen del río Guatapurí. Su territorio es llano y basculado hacia el sureste mediante una leve pendiente. La ciudad se encuentra a una altitud que oscila entre los 246 m al Norte y 150 m al Sur [13].

6.1 LOCALIZACION

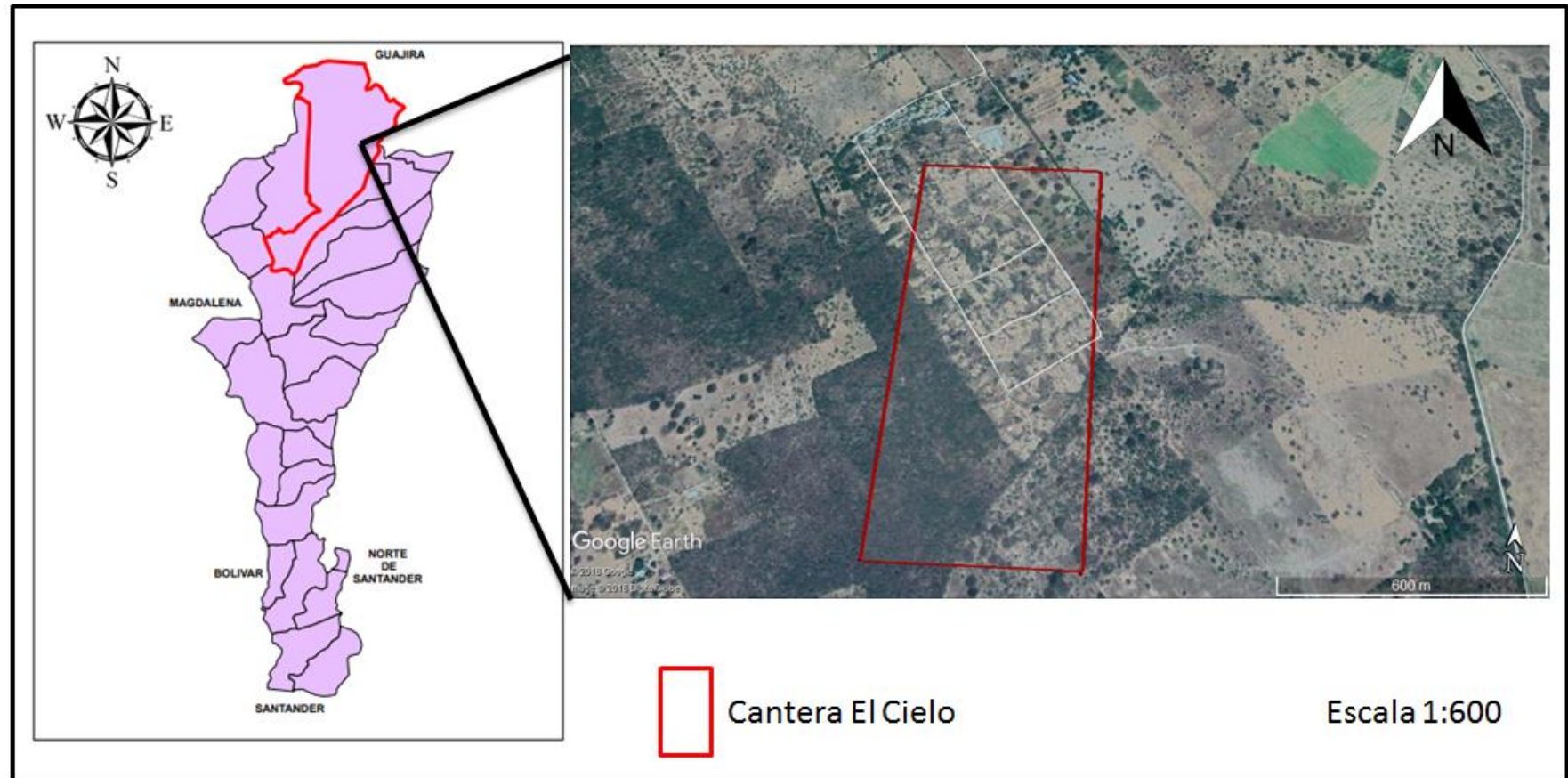
La cantera “El Cielo” se encuentra dentro del título minero 164-20 en la parte sur este del municipio de Valledupar. Para llegar al área se toma la vía que comunica a la ciudad de Valledupar con el municipio de Bosconia hasta el kilómetro 5 y desde allí a unos 500 metros en dirección sureste se encuentra la vereda El Cielo, como muestra la figura 3. Esta vereda está constituida por 320 habitantes aproximadamente, quienes no cuentan con servicios básicos de acueducto ni alcantarillado y para la mayoría de sus habitantes la única fuente de ingresos es la minería de arcillas del título minero. Las coordenadas que definen el polígono que abarca el título minero 164-20 son como se muestra en la tabla 2.

[13] CONTRALORIA MUNICIPAL DE VALLEDUPAR. Informe del estado de los recursos naturales y del ambiente del municipio de Valledupar [en línea] versión 01. Valledupar, 20 de diciembre de 2012.[consultado 1 de marzo de 2018] Disponible en:http://www.contraloriavalledupar.gov.co/CMV/DescargasCMV/Informes_Macro/INFORME_AMBIENTAL_2011_MUNICIPIO_DE_VALLEDUPAR.pdf

Tabla 2. Coordenadas de título minero 164-20 cantera "El Cielo". Fuente: Agencia Nacional de Minería (ANLA).

Punto	X	Y
1	1'081.500	1'633.400
2	1'082.000	1'633.400
3	1'081.500	1'634.500
4	1'082.000	1'634.500

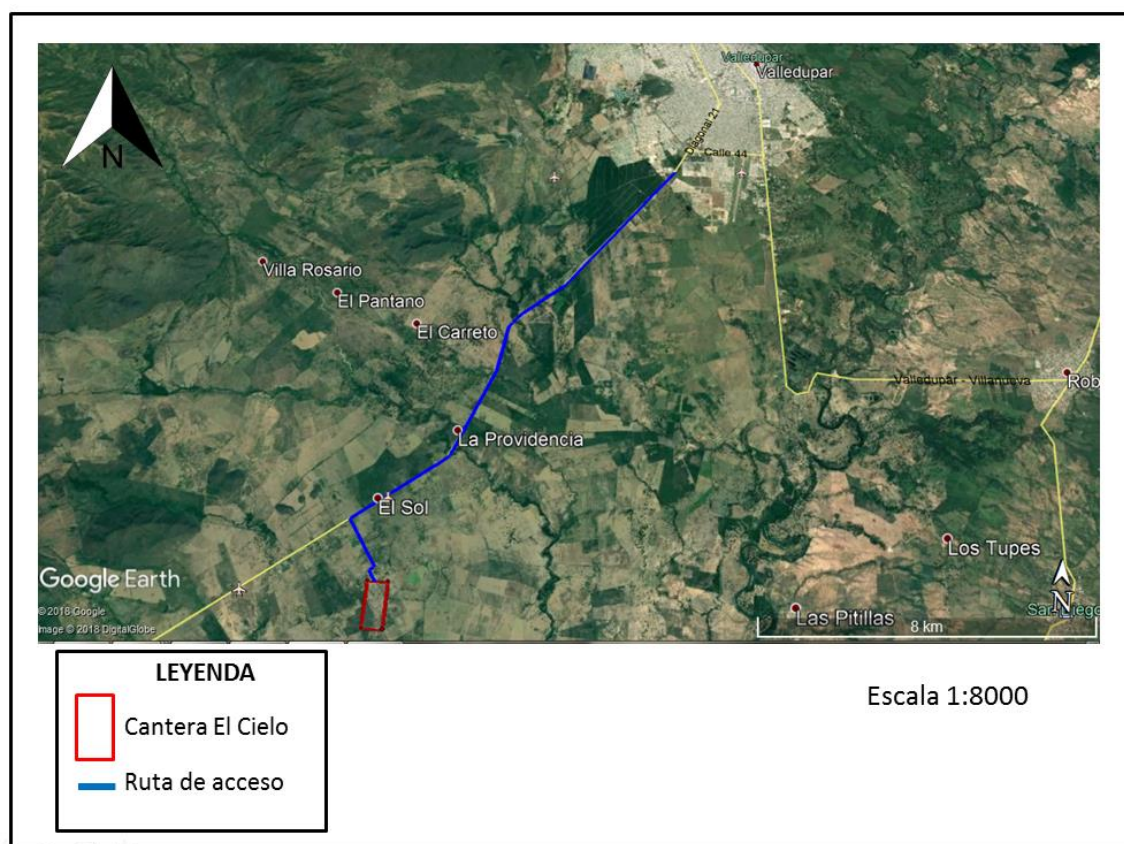
Figura 7. Localización de la cantera "El Cielo" dentro del municipio de Valledupar. Fuente de apoyo Arcmap10.5 y Google Earth.



6.2 RUTAS DE ACCESO

Para acceder a la cantera El Cielo, inicialmente se toma la vía 80 que comunica a Valledupar con en el municipio de Bosconia. Luego, en el kilómetro 5 se toma un carreteable al margen izquierdo de la vía, que nos lleva a la vereda El Cielo, donde se encuentra ubicada el área de estudio, como se muestra en la Figura 4.

Figura 8. Ruta de acceso a la cantera el cielo partiendo de la ciudad de Valledupar. Fuente de apoyo Google Earth.



6.3 VEGETACION

El valle del río Cesar es clasificado como Bosque Seco Tropical, está cubierto por un bosque claro muy intervenido donde se alternan árboles dispersos y pastos artificiales para el sostenimiento de la importante cabaña bovina existente en sus campos. El árbol más común es el mango seguido de cañahuate, ceibas, robles, totumos, acacias, mamones, cotoprix, uvitos, cardamomos y un importante corredor vial de cauchos [14].

6.4 CLIMA

En el departamento del cesar, se presentan múltiples temperaturas como consecuencia de los diversos pisos climáticos debido a la diferencia de altitud del relieve, considerando a este como el principal factor responsable de modificar el clima. El cesar cuenta con una temperatura media de 28°C Siendo cálido en las llanuras centrales y frío hacia las cimas de la Sierra Nevada de Santa Marta. En Valledupar el clima es tropical, los veranos más lluviosos que los inviernos [15].

En cuanto a las temperaturas, según los datos acumulados desde 1969 por el IDEAM en su estación meteorológica ubicada en el aeropuerto Nacional Alfonso López, la temperatura media anual es de 28,4 °C, con máximas y mínimas de 22 °C y 34 °C respectivamente, la temperatura máxima histórica registrada es de 41.5 °C y la mínima de 16 °C. El mes más caluroso es abril con un promedio de 30 °C y el más fresco octubre con 26 °C. Las precipitaciones son moderadas en torno a

[14] Ibid. p. 14.

[15] Ibid. p. 12.

1.000 mm anuales, repartidos entre abril y noviembre con máximas en mayo y octubre [16].

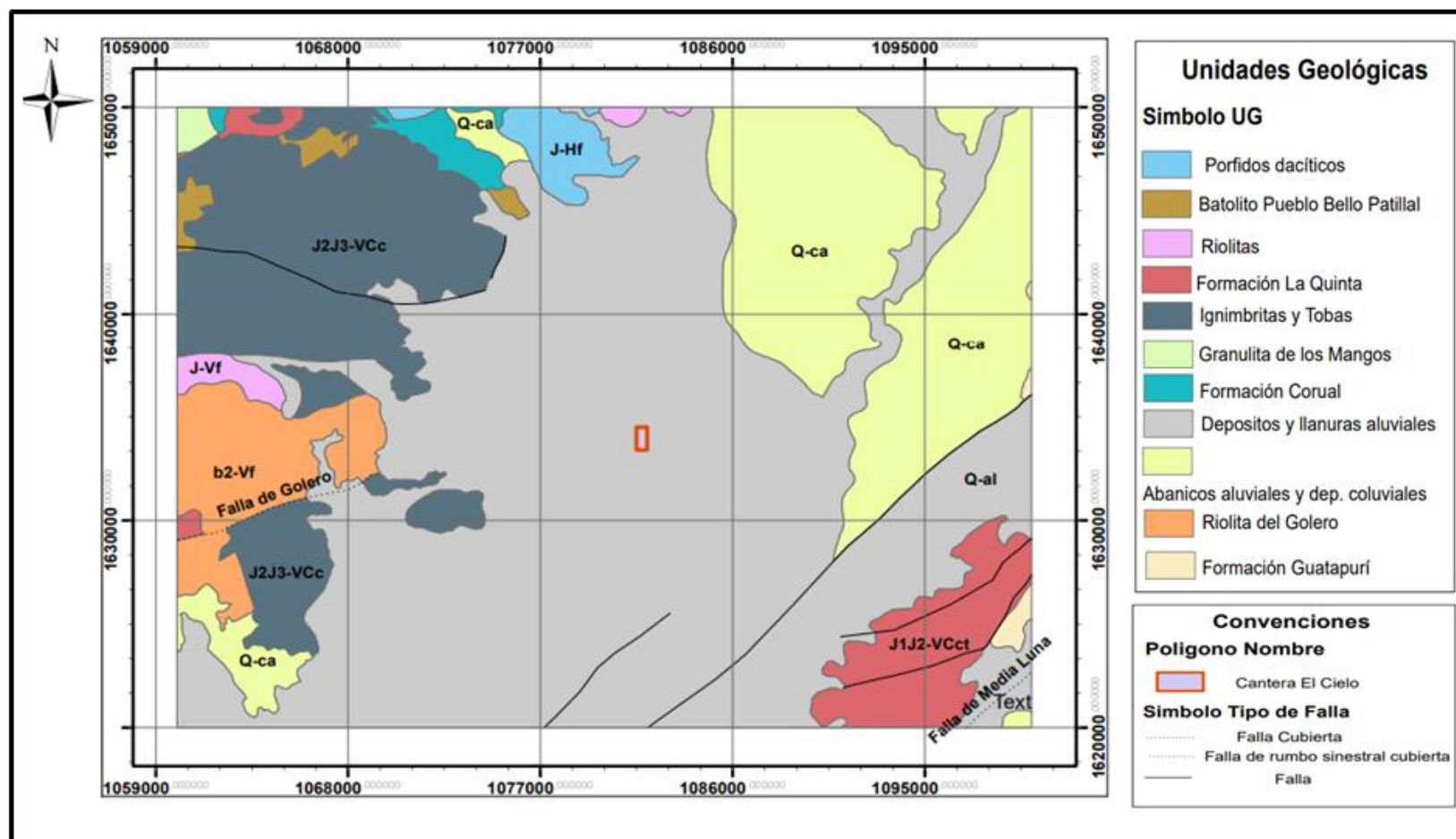
6.5 GEOLOGIA REGIONAL

El municipio de Valledupar, se encuentra en una región que presentan dos zonas con características distintas como se muestra en la figura 9. Hacia la parte norte y occidental se encuentra el sistema montañoso que hace parte de la Sierra Nevada de Santa Marta y hacia la parte sur y oriental se presentan depósitos recientes, correspondientes a la planicie del Cesar [17].

[16] Ibid., p.11.

[17] Cabal, J. Consultoría de obras civiles. En <estudiosydiseños@consulcivil.com> [correo electrónico de lista de distribución]. Disponible desde internet en: <https://www.findeter.gov.co/descargar.php?idFile=214338>

Figura 9. Mapa geológico de las dos zonas características de Valledupar. Fuente: Autora.



6.5.1 Región de la Sierra Nevada de Santa Marta

En la Sierra Nevada de Santa Marta, se encuentran aflorando rocas ígneas y metamórficas en mayor proporción y rocas sedimentarias, con edades que van desde el precámbrico hasta el reciente [18].

Las unidades de roca más antiguas son metamorfitas en facies granulita de Edad Grenvilliana, incluyendo neises cuarzo feldespáticos y anortosíticos. Estas unidades están cubiertas por una sucesión de metamorfitas de medio a bajo grado de posible edad paleozoica temprana. Por encima descansan rocas parametamórficas de medio a bajo grado, posiblemente mesozoicas, aunque no hay evidencia directa. Las unidades metamórficas de medio a alto grado son intruídas por un extenso complejo de granitoides de edad jurásica, cuyas facies más noroccidentales y profundas son más ricas en máficos, en tanto que hacia arriba y al suroriente se disponen las más félsicas. El rango de edad de estas unidades va desde el Precámbrico hasta el Cenozoico [19].

Las rocas ígneas dominan la mayor área de la Sierra Nevada de Santa Marta. Las rocas ígneas intrusivas son las más distribuidas y presentan de edades Paleozoica, Mesozoica y Cenozoica; las rocas volcánicas y vulcanoclásticas tienen edad Mesozoica y se encuentran especialmente hacia los piedemontes nororiental, oriental y sur de la SNSM [20].

[18] CORPOCESAR, evaluación del potencial del agua subterránea para riego de los sistemas acuíferos cono aluvial y llanura aluvial de Valledupar, departamento del cesar. Junio, 2007; p 29.

[19] INGEOMINAS, geología de la planchas 11, 12, 13, 14, 18, 19, 20, 21, 25, 26, 27,33, 34 y 40. proyecto: “Evolución Geohistórica de la Sierra Nevada de Santa Marta”. Octubre, 2007.

[20] Ibid., p. 135.

Las rocas sedimentarias se localizan especialmente hacia los sectores sur y oriental de la Sierra Nevada de Santa Marta, ocupan los valles de los ríos Cesar y Ranchería, la parte baja del Río Guatapurí e incluyen rocas con edades del Paleozoico, del Mesozoico y del Cenozoico. Los ambientes de depósito de estas unidades son continentales y marinos. Dentro de las rocas sedimentarias se han incluido las unidades que dentro de la secuencia presentan interposiciones de metasedimentitas, rocas volcánicas o rocas vulcanoclásticas [21].

6.5.1 Región Planicie del Cesar

La Planicie del Cesar, corresponde a un área de plana a semiplana que ha sido rellenada por sedimentos de edad cuaternaria. Entre ellos se encuentran los depósitos de llanura aluvial (qla), abanico aluvial de valledupar (qca), aluviones recientes (qal) y terrazas (qt) [22].

Los Depósitos de Llanura Aluvial (Qlla), son aquellos sedimentos transportados y acumulados por los ríos, corrientes y arroyos en las zonas planas. Desde el punto de vista litológico están constituidos por una secuencia de capas de arenas, limos y gravas de texturas finas a gruesas. Estos sedimentos provienen de rocas volcánicas, intrusivas, metamórficas y sedimentarias. Ángel (1995) reporta un espesor mayor de 100 metros en el sector del río Cesar entre Valledupar y el Río Garupal [23].

[21] Ibid. p. 229.

[22] CORPOCESAR, Op cit., p. 29.

[23] CORPOCESAR, Op cit., p. 107.

En el pie de monte de las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta entre Valledupar y Bosconia, el depósito de Llanura Aluvial es de muy poco espesor y cubre las rocas ígneas de la parte sur dejando pequeños cerros aislados; el espesor aumenta hacia el sur hasta alcanzar su máximo, mayor de 100 m, en cercanías del Río Cesar. El depósito está compuesto por gravas, arenas y arcillas provenientes de la meteorización de las rocas ígneas y volcánicas de la Sierra que por su contenido de materiales máficos dan al aluvión un color gris a gris oscuro [24].

En el corregimiento de Valencia de Jesús los depósitos de Llanura Aluvial (Qlla) se caracterizan por ser arcillo-limosa por lo que es objeto de actividades de pequeña minería a cielo abierto para la elaboración de ladrillos [25].

Ingeominas (1994) reporta que en el área de El Paso-La Loma-La Jagua de Ibirico la Llanura Aluvial es de poco espesor; según PRODECO (1991), varía entre 5 y 25 metros de profundidad, siendo la delimitación de estos depósitos no muy clara debido a que no presentan buen contraste con las rocas más antiguas, por tratarse de una planicie arrasada. Su espesor es variable en cercanías del río Cesar, donde alcanza su máximo espesor, mayor de 100 m [26].

El Abanico Aluvial de Valledupar (Qcal), se originó por la meteorización física y química de rocas preexistentes en la Sierra Nevada de Santa Marta, las cuales fueron transportadas y depositadas gradiente abajo por las corrientes de agua que

[24] CORPOCESAR, 2009. Evaluación del potencial del agua subterránea en los municipios de Curumani, Pailitas, Tamalameque, Pelaya, La Gloria, Gamarra, Aguachica, Río de Oro, San Martín y San Alberto, Departamento del Cesar; p. 62.

[25] Ibid. p. 63.

[26] Ibid. p. 63.

disminuyeron su debido al cambio de las pendientes de abruptas a suaves del terreno[27].

El Abanico de Valledupar presenta una extensión de 10 Km² desde su ápice hasta su parte frontal; donde se asienta la ciudad de Valledupar; cuya demanda de obras de infraestructura expone la zona no saturada la cual se encuentra constituida por capas de arenas de muy gruesas a gravas que incluye cantos rodados y bloques angulares a subredondeados de rocas ígneas intrusivas de grano medio a grueso embebidos en una matriz arenosa [28].

Los Aluviones Recientes (Qal), son acumulaciones de sedimentos en los cauces principales y los afluentes de los principales ríos. Están constituidos por arenas, gravas y arcillas de diferente granulometría conformando en algunos casos geoformas de origen aluvial como islas, barras y depósitos meandriformes [29].

Las Terrazas (Qt), se localiza al norte y nororiente de la ciudad de Valledupar, su contacto con los Depósitos de Llanura Aluvial (Qlla) se observa bien definido por la presencia de pequeños niveles en la subcuenca del río Guatapurí, específicamente en la trocha que comunica a Valledupar con Guacoche. Litológicamente, están constituidas por una secuencia de capas con granos de arenas, cantos de gravas de texturas finas a muy gruesas y bloques de rocas ígneas intrusivas y volcánicas, al igual que de limolitas rojas provenientes de la Sierra Nevada de Santa Marta [30].

[27] Ibid. p. 66.

[28] Ibid. p. 67.

[29] Ibid. p. 72.

[30] Ibid. p. 77.

6.6 GEOLOGIA LOCAL

El área corresponde a depósitos cuaternarios de Llanura Aluvial (Qlla) como se muestra en la figura 10. Estos depósitos recientes son acumulados por las corrientes en la zona plana y semiplana. Estos sedimentos de espesores variables, se caracterizan por una granulometría fina a gruesa compuesta por gravas, arenas finas a gruesas, limos y arcillas. En el norte del departamento entre la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía de Perijá, el Río Cesar y sus tributarios, es el principal aportante de sedimentos [31].

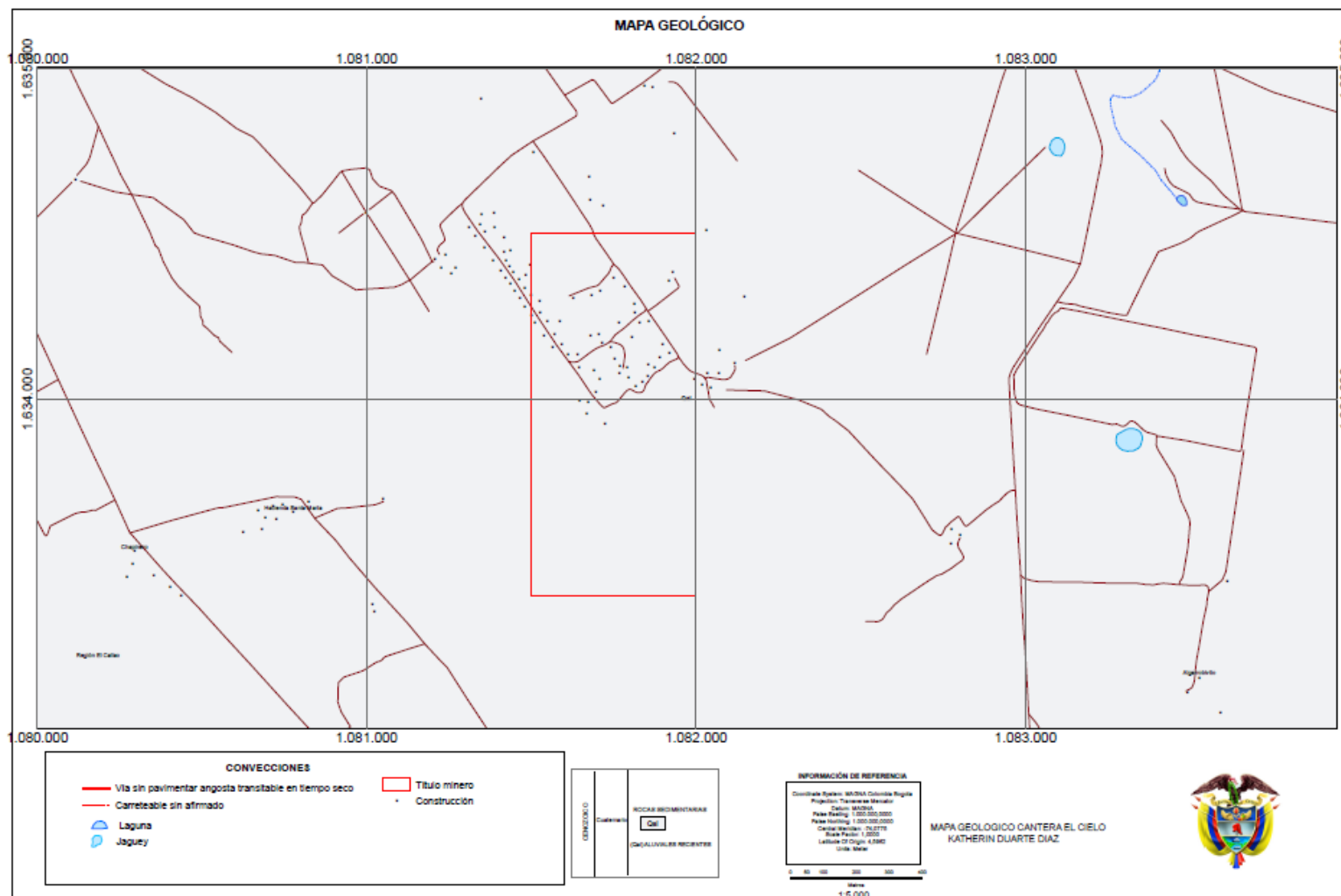
6.7 GEOMORFOLOGIA

Geomorfológicamente el área se caracteriza por ser una planicie aluvial formada por sedimentos que provienen de la Sierra Nevada de Santa Marta. El modelado que presenta este paisaje es resultado de la dinámica de los ríos que atraviesan el área en distintas direcciones, los cuales al penetrar la planicie divagan formando una secuencia de terrazas, llanuras y vegas [32].

[31] CORPOCESAR. Aprovechamiento y protección integral del agua subterránea en las ecorregiones de los valles de los ríos cesar y magdalena departamento del cesar. Diciembre, 2006. P.58.

[32] IGAC, 1997. Estudio general de suelos del Departamento del Cesar. P. 17.

Figura 10. Mapa geológico de la zona de estudio. Fuente: Autora.



7. RESULTADOS

En esta parte se presentan los resultados del muestreo realizado en los frentes de explotación, los análisis realizados a las muestras recolectadas para determinar su comportamiento según los límites de consistencia y clasificarlos por medio de la carta de clasificación de Casa Grande. También se interpretan los resultados de la tomografía eléctrica y se realiza el cálculo de recurso para la evaluación de los recursos de arcilla presentes en la cantera El Cielo.

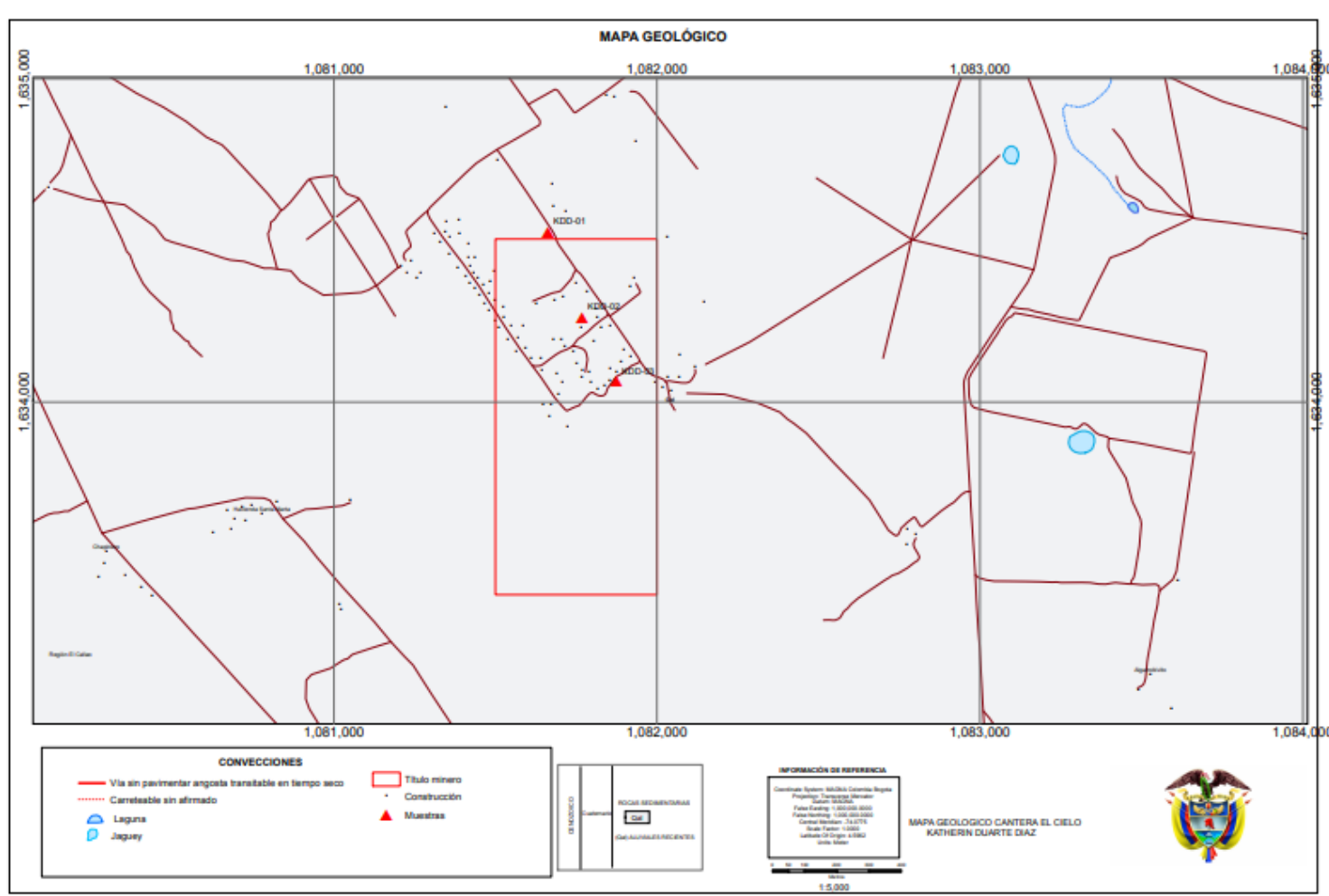
7.1 MUESTREO

Los frentes de explotación de la cantera El Cielo cuentan con espesores que van de 2 a 4 metros, las muestras recolectadas fueron obtenidas de manera aleatoria siendo 3 muestras en total tomadas de todo el espesor de los diferentes frentes. Estas muestras fueron guardadas en bolsas negras y bolsas ziploc y posteriormente llevadas al laboratorio de la Fundación Universitaria del Área Andina para aplicar los límites de consistencia. Los puntos donde fueron tomadas las muestras se presentan en la tabla 3 y su ubicación en el mapa se observa en la figura 11.

Tabla 3. Puntos correspondientes a la toma de muestras.

Muestra	Coordenadas	
	X	Y
KDD-01	1'081.663	1'634.524
KDD-02	1'081.769	1'634.263
KDD-03	1'081.875	1'634.063

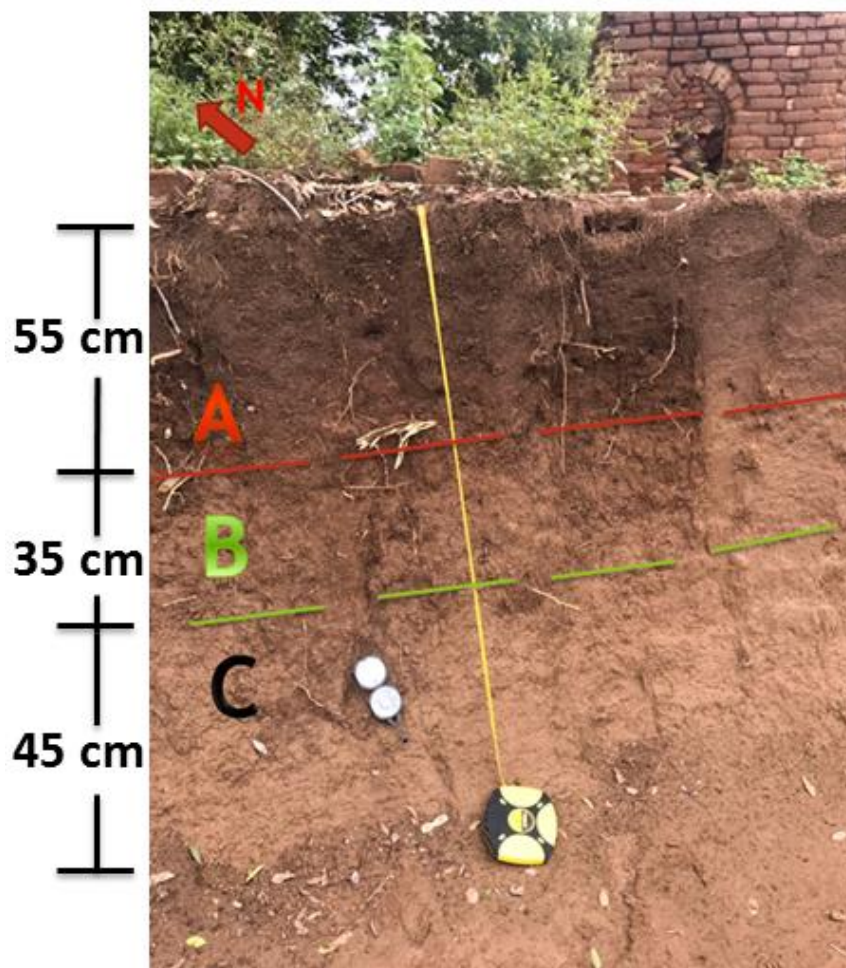
Figura 11. Ubicación de los puntos muestreados. Los triángulos rojos indican las zonas donde fueron tomadas las muestras analizadas. Fuente: Autora.



7.1.1 Muestra KDD-01

El frente de explotación donde se obtuvo la muestra KDD-01 cuenta con un espesor de 1.30 metros, en él se observan tres horizontes como se muestra en la figura 12. El primer horizonte es el A, cuenta con un espesor de 55 cm, presenta una tonalidad pardo oscuro debido al contenido de materia orgánica, se aprecian raíces de plantas y composicionalmente es un material de tipo arcilloso. Luego, el horizonte B, tiene un espesor de 35 cm, tiene un color pardo amarillento y es más claro que el anterior horizonte debido a que carece de contenido orgánico, se observa la presencia de raíces pero en menor proporción, éste es de tipo arcilloso. Finalmente el horizonte C, cuenta con un espesor de 45 cm, presenta un color parduzco y su composición es arcillo limosa.

Figura 12. Horizontes del suelo del frente de explotación de arcillas, donde se obtuvo la muestra KDD-01.

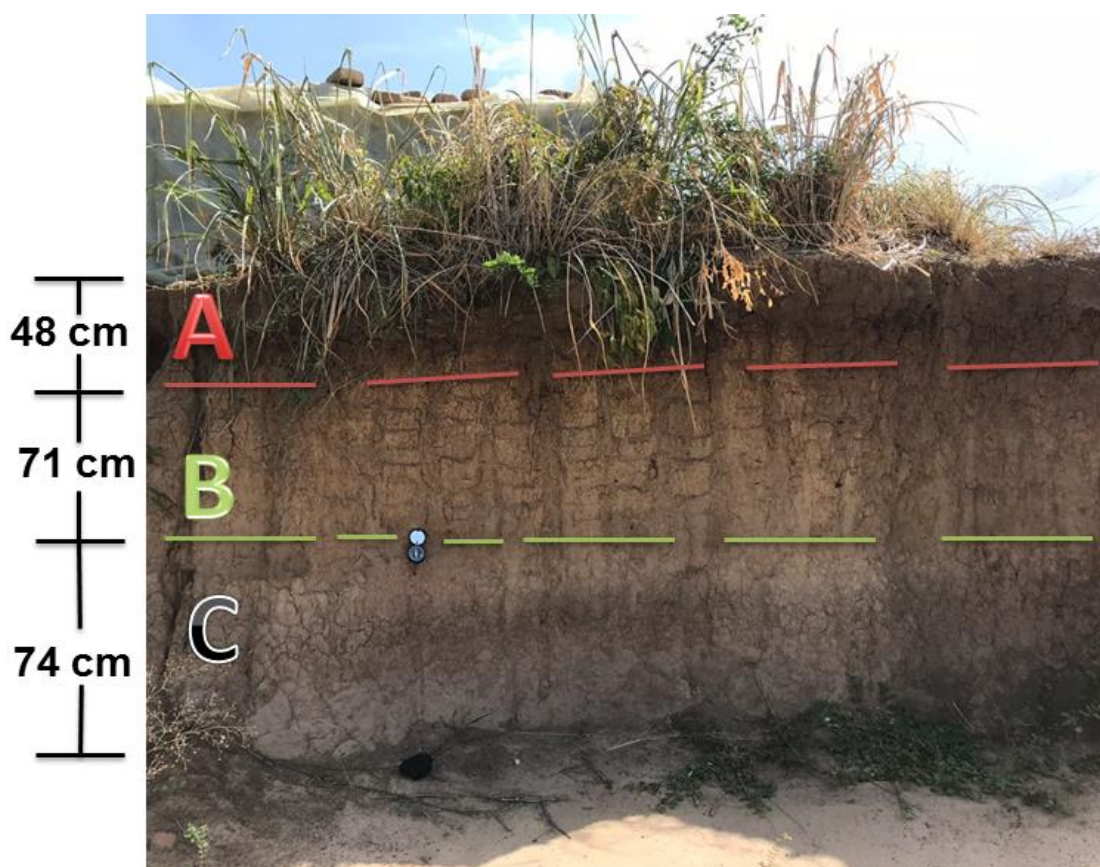


7.1.2 Muestra KDD-02

En este frente de explotación se obtuvo de todo el espesor la muestra KDD-02 en éste también se observan tres horizontes como se muestra en la figura 13, ese frente cuenta en su totalidad con un espesor de 1.93 metros. El horizonte A, es suelo orgánico, de color pardo oscuro con abundantes raíces y materia orgánica.

Tiene un espesor de 48 cm y es un material de tipo arcilloso. El horizonte B, presenta un color pardo amarillento con menor presencia de humus y de raíces, éste es de tipo arcilloso, susceptible de agrietamientos por desecación y cuenta con un espesor de 71 cm. El horizonte C, tiene un espesor de 74 cm, presenta un color pardo y su composición es arcillo limosa.

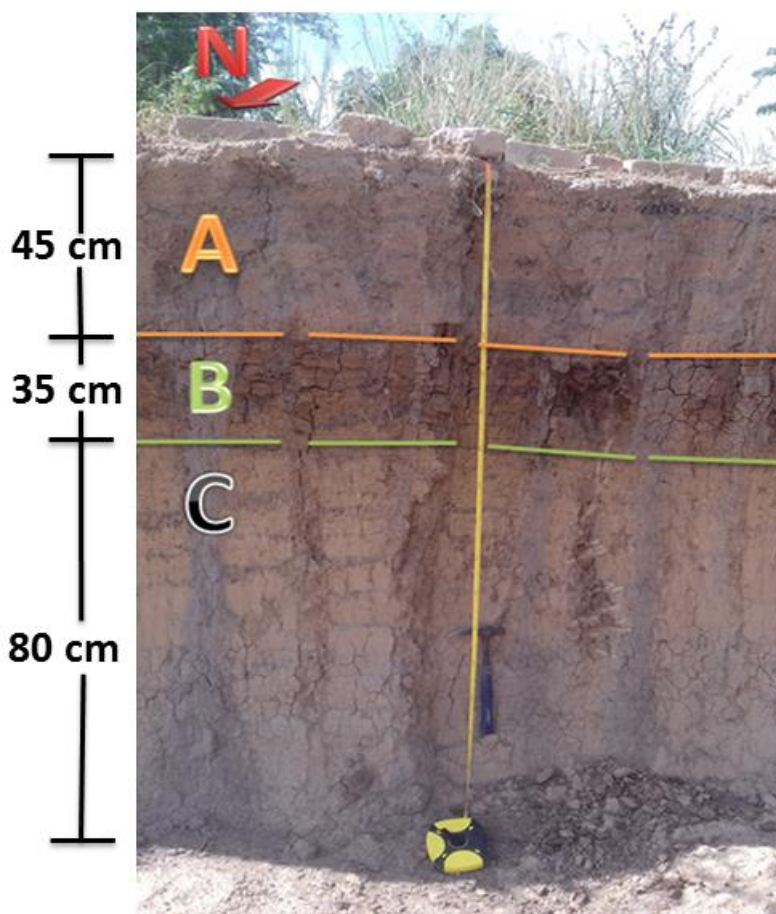
Figura 13. Horizontes del suelo del frente de explotación de arcillas, donde se obtuvo la muestra KDD-02.



7.1.3 Muestra KDD-03

En este punto, el frente de explotación cuenta con un espesor total de 1.75 metros, donde se observan tres horizontes. El primero es el horizonte A, cuenta con un espesor de 50 cm, presenta una tonalidad parda oscura debido al contenido de materia orgánica, tiene presencia de raíces de plantas y corresponde a un material de tipo arcilloso con presencia de humus. El segundo horizonte es el B, tiene un color pardo amarillento, carece de humus y se observa la presencia de raíces pero en menor proporción, éste es de tipo arcillo limoso, es susceptible de agrietamientos por desecación y cuenta con un espesor de 35 cm. El tercer horizonte, corresponde al C, éste cuenta con un espesor de 80 cm, presenta un color pardo amarillento aún más claro que el anterior horizonte y su composición es arcillo limoso. En la figura 14, se presenta el frente de explotación donde se obtuvo de todo el espesor la muestra KDD-03.

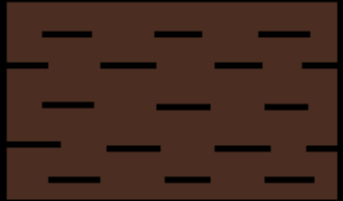
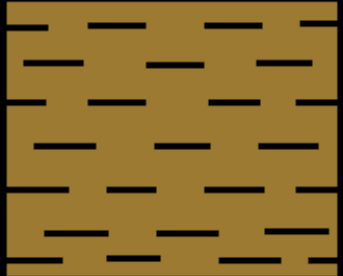
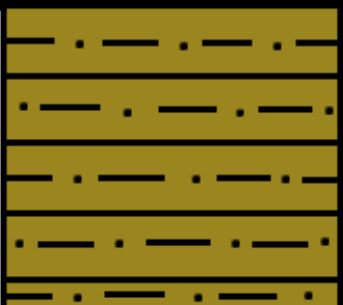
Figura 14: Horizontes del suelo en el frente de explotación de arcillas donde se obtuvo la muestra KDD-03.



7.1.4 Perfil de suelo

Teniendo en cuenta los tres horizontes muestreados se lleva a cabo un perfil de suelo como se muestra en la figura 15, donde se describen y analizan los rasgos característicos y los cambios transicionales en su composición a partir de las observaciones hechas en campo.

Figura 15. Perfil de suelo del aluvial que contiene las arcillas en la Cantera El Cielo. Fuente: Autora.

HORIZONTES		DESCRIPCION
A		Partículas finas minerales mezcladas con materia orgánica lo que le dan un color pardo oscuro, contiene raíces de plantas. cuenta con un espesor entre 48-55 cm. su composición es arcillosa.
B		Capa más clara con poca materia orgánica, su composición es arcillosa, presenta una tonalidad parduzca y cuenta con un espesor entre 35 a 71 cm.
C		Pobre en humus, presenta un color parduzco amarillento más claro, su composición es arcillo limosa y su espesor es de 45 a 80 cm. En ese se acumulan materiales procedentes de los horizontes anteriores debido a la lixiviación.

7.2 DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE ATTERBERG

Luego de analizar la muestra obtenida de un frente de explotación de la cantera El Cielo, se obtienen los datos observados en la tabla 4, a partir de la aplicación de los límites de Atterberg siguiendo la norma I.N.V. E-125 para la determinación del límite líquido y la norma I.N.V. E-126 para el límite plástico e índice de plasticidad, aplicado a las partículas que pasan el tamiz No.40. Con esto se busca determinar

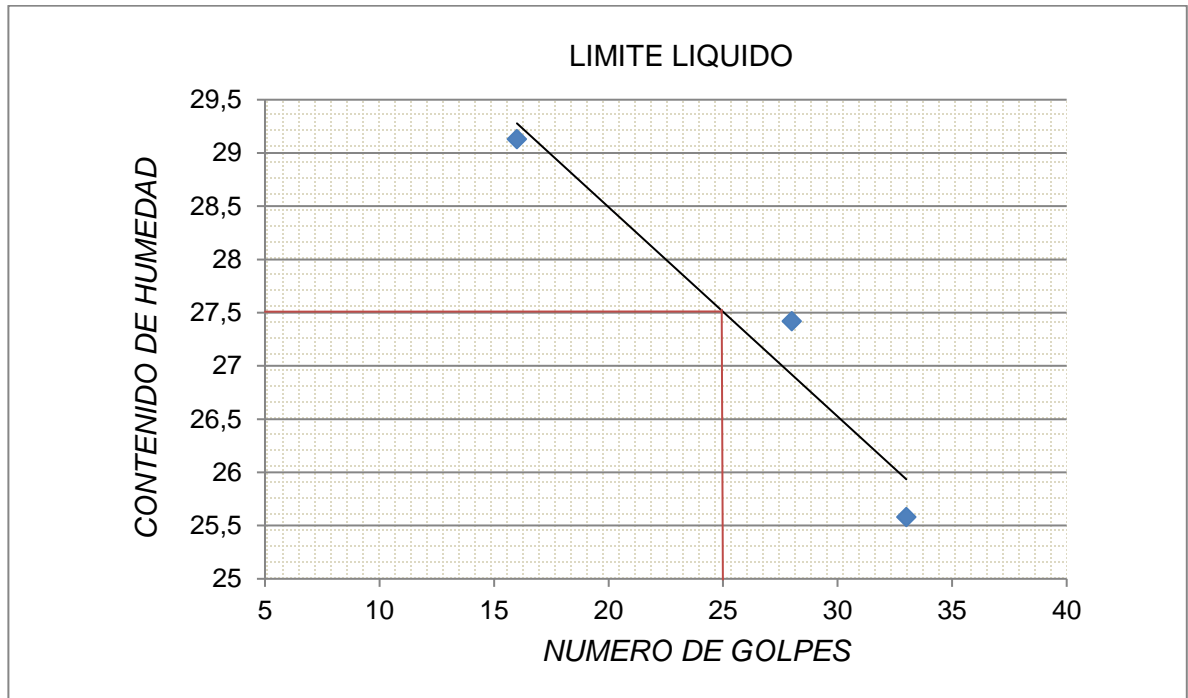
los límites de consistencia de las muestras de arcilla y clasificarlas en la carta de plasticidad de Casagrande.

Tabla 4. Datos de límite líquido y límite plástico obtenidos en laboratorio para la muestra KDD-01.

DESCRIPCION	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
N° de ensayo	1	2	3	1	2
N° de capsula	KJ-01	KJ-02	KJ-03	KJ-05	KJ-06
Peso de capsula(gr)	12,7	15,2	13,5	13,4	14,1
Peso de capsula + M. húmeda(gr)	26	20,6	21,4	14,3	14,9
Peso de capsula + M. seca(gr)	23	19,5	19,7	14,2	14,8
Peso del agua(gr)	3	1,1	1,7	0,1	0,1
Peso de la muestra seca(gr)	10,3	4,3	6,2	0,8	0,7
Contenido de humedad (%)	29,13	25,58	27,42	12,5	12,3
N° de golpes	16	33	28		
Promedio C. de humedad (%)				12,4	

Luego es necesario representar gráficamente los valores de número de golpes y el contenido de humedad por medio de una relación lineal como se muestra en la figura 16, necesaria para determinar el límite líquido de la muestra KDD-01.

Figura 16. Determinación del límite líquido para la muestra KDD-01.



Límite Líquido= 27,5%

Límite Plástico= 12,4%

Índice de Plasticidad= 15,1%

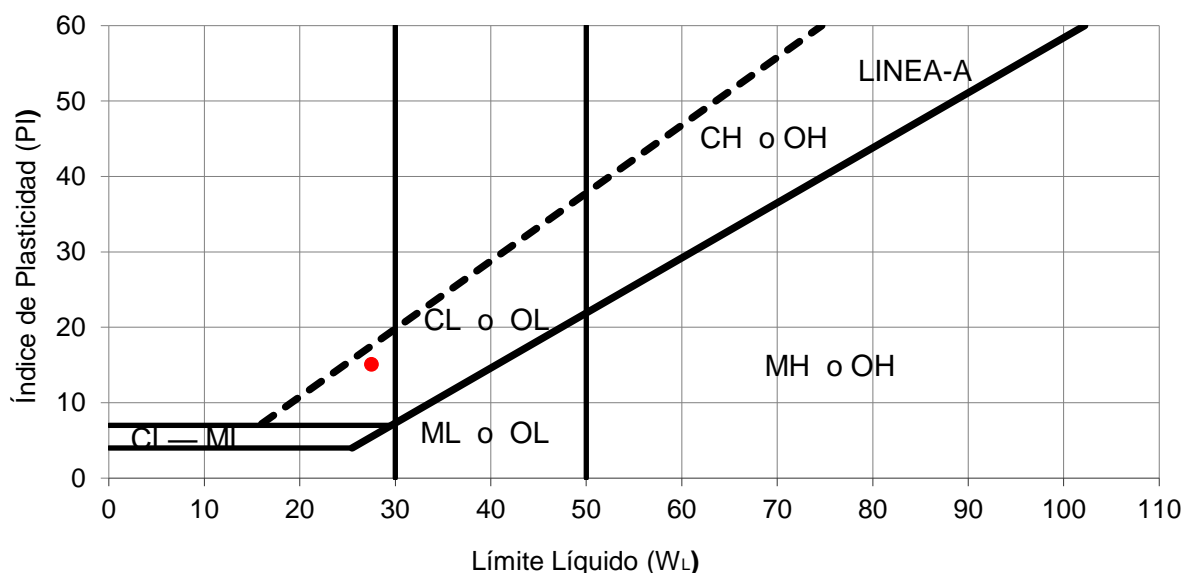
Casagrande, definió que los suelos con límite líquido mayor a 50 son de alta plasticidad, mientras que aquellos por debajo a este valor se consideran de baja plasticidad.

En la carta de Casagrande se definen varias zonas, donde los suelos limosos y con contenido orgánico tienen un intervalo de humedad menor para pasar del estado semisólido a semilíquido, situándose por debajo de la línea A, mientras que las arcillas están por encima de dicha línea. Definiéndose así varios tipos de suelos: arcilla de baja plasticidad (CL), arcillas de alta plasticidad (CH), limos y

suelos orgánicos de baja plasticidad (ML-OL) y limos y suelos orgánicos de alta plasticidad (MH-OH) [33].

Teniendo en cuenta lo anterior, por medio de la representación gráfica en la carta de Casagrande la muestra analizada corresponde a una arcilla de baja plasticidad (CL), como se muestra en la figura 17.

Figura 17. Clasificación de la muestra de suelo KDD-01 en la carta de plasticidad de Casagrande.



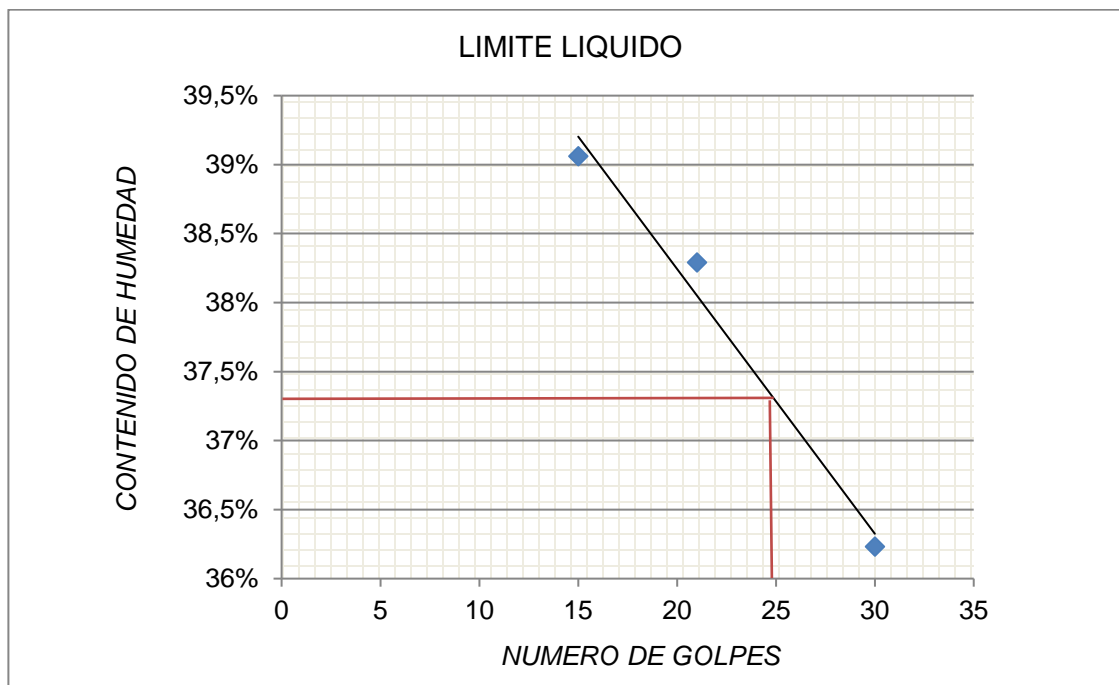
Al analizar la muestra KDD-02 en laboratorio se obtuvo los datos para el límite líquido y límite plástico que se muestran en la tabla 5. Posterior a esto se obtiene el porcentaje de límite líquido e índice de plasticidad (figura 18) necesario para la clasificación en la Carta de Casagrande.

[33] GONZALEZ DE VALLEJO, Luis, FERRER, Mercedes, ORTUÑO, Luis, OTEO, Carlos. Ingeniería Geológica. En: Pearson Education. Madrid, 2002; p 23.

Tabla 5. Datos de límite líquido y límite plástico obtenidos en laboratorio para la muestra KDD-02.

DESCRIPCION	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
N° de ensayo	1	2	3	1	2
N° de capsula	KD-01	KD-02	KD-03	KD-05	KD-06
Peso de capsula(gr)	12,85	13,22	12,96	12,59	15,54
Peso de capsula + M. húmeda(gr)	31,15	26,23	28,78	13,87	16,59
Peso de capsula + M. seca(gr)	26,01	22,77	24,40	13,61	16,40
Peso del agua(gr)	5,14	3,46	4,38	0,26	0,19
Peso de la muestra seca(gr)	13,16	9,55	11,44	1,02	0,86
Contenido de humedad (%)	39,06	36,23	38,29	25,49	22,09
N° de golpes	15	30	21		
Promedio C. de humedad (%)				23,79	

Figura 18. Determinación del límite líquido para la muestra KDD-02.



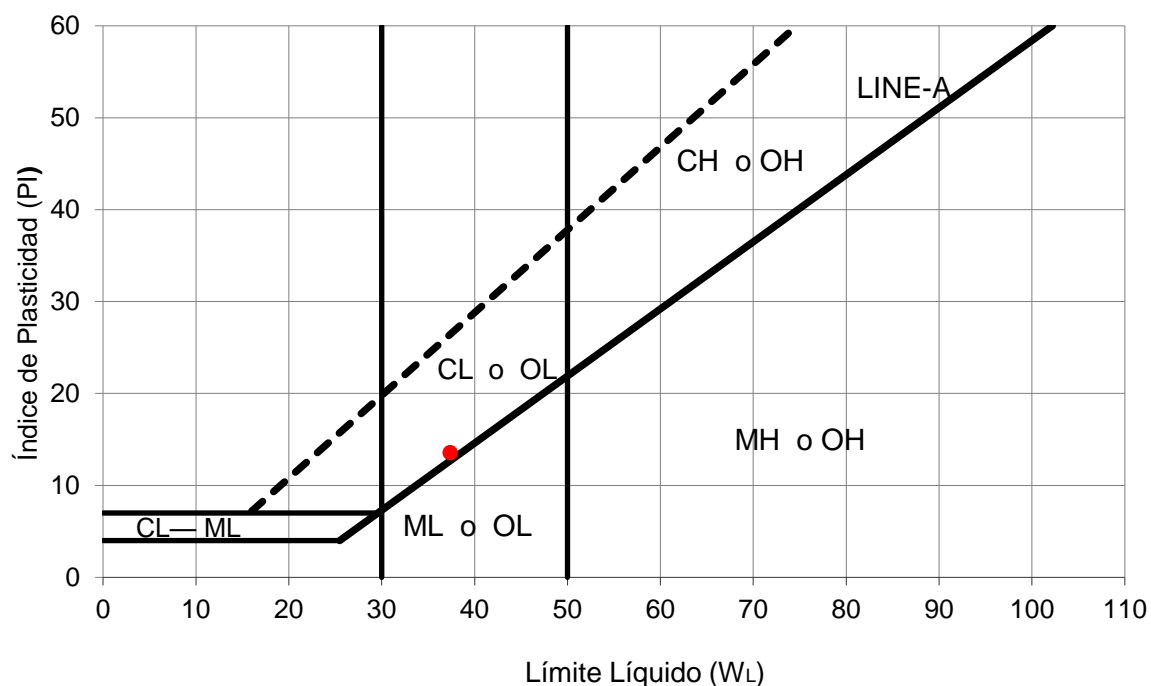
Límite Líquido= 37,38%

Límite Plástico= 23,79%

Índice de Plasticidad= 13,59%

Teniendo en cuenta la representación gráfica en la carta de plasticidad de Casagrande y según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) la muestra corresponde a una arcilla de plasticidad baja a media (CL), como se muestra en la figura 19.

Figura 19. Clasificación de la muestra de suelo KDD-02 en la carta de plasticidad de Casagrande.

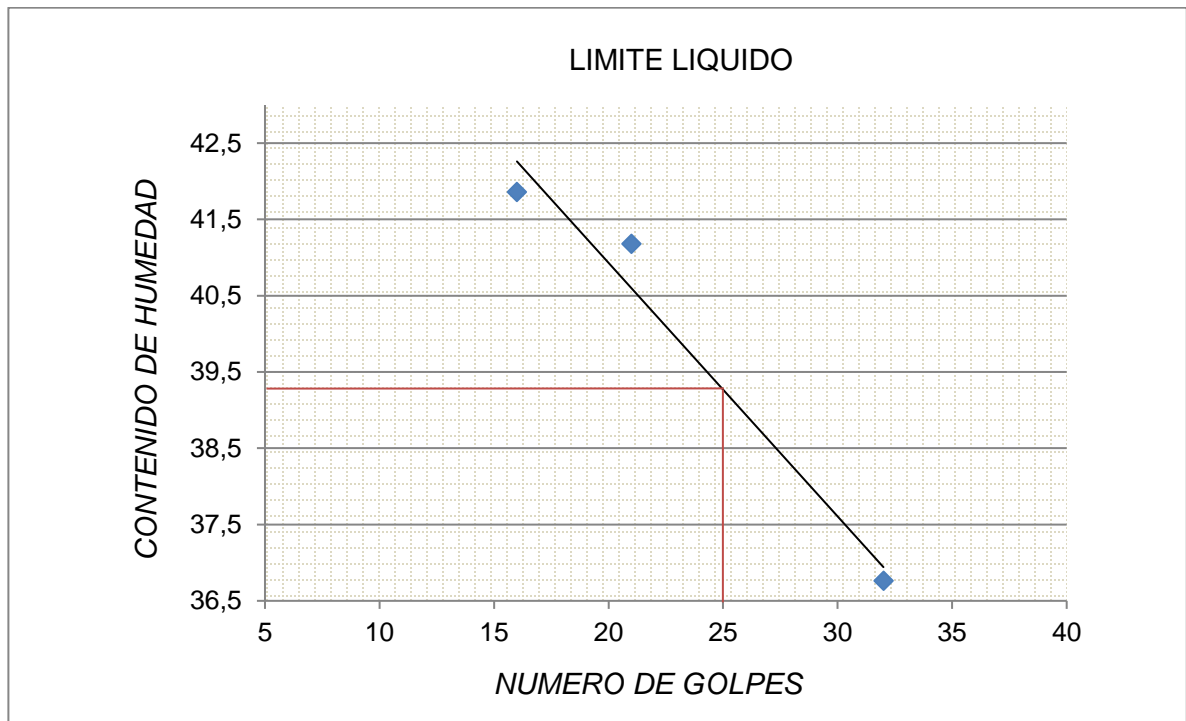


Finalmente, en la tabla 6 se presentan los porcentajes obtenidos para la muestra KDD-03, permitiendo representarlos gráficamente (figura 20) y así obtener los valores de límite líquido e índice de plasticidad necesarios para su clasificación.

Tabla 6. Datos de límite líquido y límite plástico obtenidos en laboratorio para la muestra KDD-03.

DESCRIPCION	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
N° de ensayo	1	2	3	1	2
N° de capsula	KJD-01	KJD-02	KJD-03	KJD-05	KJD-06
Peso de capsula(gr)	15	13,3	13,5	16,9	12,3
Peso de capsula + M. húmeda(gr)	24,3	19,4	20,7	17,7	13,3
Peso de capsula + M. seca(gr)	21,8	17,6	18,6	17,5	13
Peso del agua(gr)	2,5	1,8	2,1	0,2	0,3
Peso de la muestra seca(gr)	6,8	4,3	5,1	0,6	0,7
Contenido de humedad (%)	36,76	41,86	41,18	33,33	42,86
N° de golpes	32	16	21		
Promedio C. de humedad (%)				38,1	

Figura 20. Determinación del límite líquido para la muestra KDD-03.



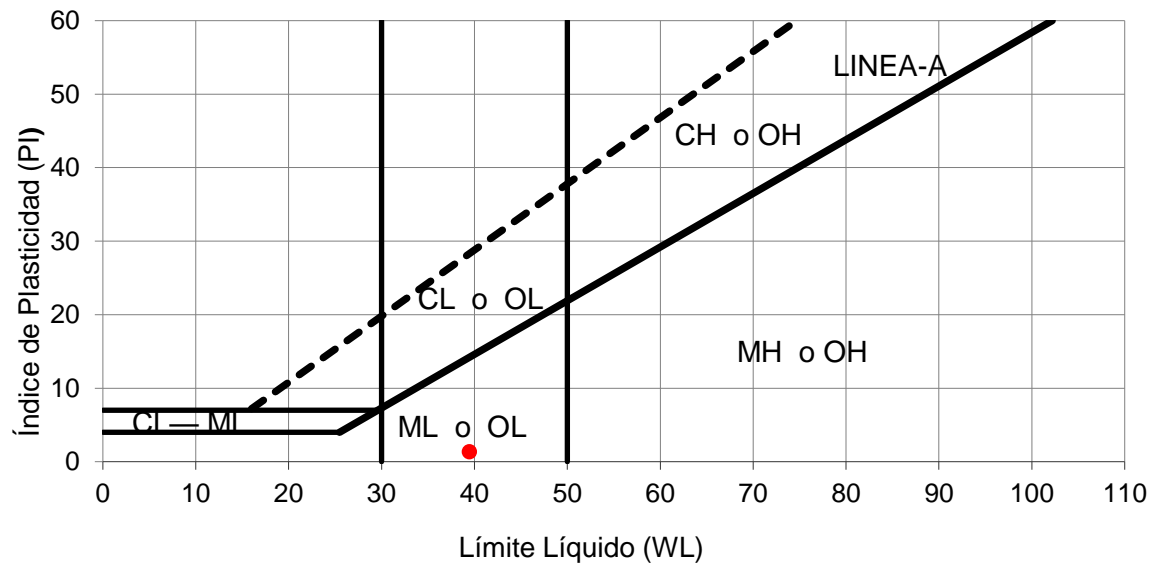
Límite Líquido= 39,45%

Límite Plástico= 38,1%

Índice de Plasticidad= 1,35%

De acuerdo a la clasificación de Casagrande la muestra KDD-03 corresponde a limos de baja plasticidad (ML), como se observa en la figura 21.

Figura 21. Clasificación de la muestra de suelo KDD-03 en la carta de plasticidad de Casagrande.



7.3 TOMOGRAFIA ELECTRICA

La Tomografía Eléctrica es un método que permite investigar la variación de la resistividad del subsuelo a profundidad y lateralmente. Se estudia a lo largo de líneas en una dirección determinada, donde se inyecta una corriente eléctrica y mediante un dispositivo receptor se observa la respuesta del subsuelo, siendo el resultado, datos de resistividades aparentes. Se caracteriza por ser una técnica de resistividad multielectrónica, cuyo arreglo geométrico varía dependiendo del objetivo de estudio. Con las mediciones adquiridas se construye una sección en

dos dimensiones (2D) que muestra una primera aproximación de los cambios en el subsuelo [34].

El principio físico en el que se basa esta metodología está relacionado con el siguiente concepto: mediante un dispositivo electrónico, se inyecta una corriente estacionaria a través de un par de electrodos puntuales [C1 y C2], y se lee la diferencia de potencial entre otro par de electrodos [P1 y P2], como se muestra en la figura 22. La relación de estas dos magnitudes proporciona una resistividad aparente que depende de la resistencia de los materiales presentes en el subsuelo. En la práctica se utilizan al menos dos electrodos en la superficie, uno positivo que inyecta corriente al subsuelo y a su vez uno negativo que colecta la corriente de regreso. Sin embargo prácticamente todos los estudios se realizan con un arreglo geométrico de cuatro o más electrodos, como la tomografía eléctrica que se caracteriza por ser multielectrónica, que finalmente están basados en el mismo principio. El arreglo geométrico consta de dos electrodos por donde se inyecta la corriente llamados C1, C2 y dos electrodos P1, P2 que miden el potencial. La configuración geométrica puede variar dependiendo del objetivo del estudio [35].

Dipolo- Dipolo: La geometría es C2-C1-P1-P2, en principio la distancia es equidistante entre los electrodos “a”, pero incrementa en “n x a” en C2-C1 y P1 - P2. Con este método logra mayor profundidad pero su resolución en la vertical es menor [36].

Schlumberger: En este arreglo la distancia de los electrodos P1 - P2 se mantiene constante, ampliando solo la distancia C2 - C1. A separaciones mayores en donde se hace necesario ampliar los electrodos P1- P2, es necesario realizar una medida

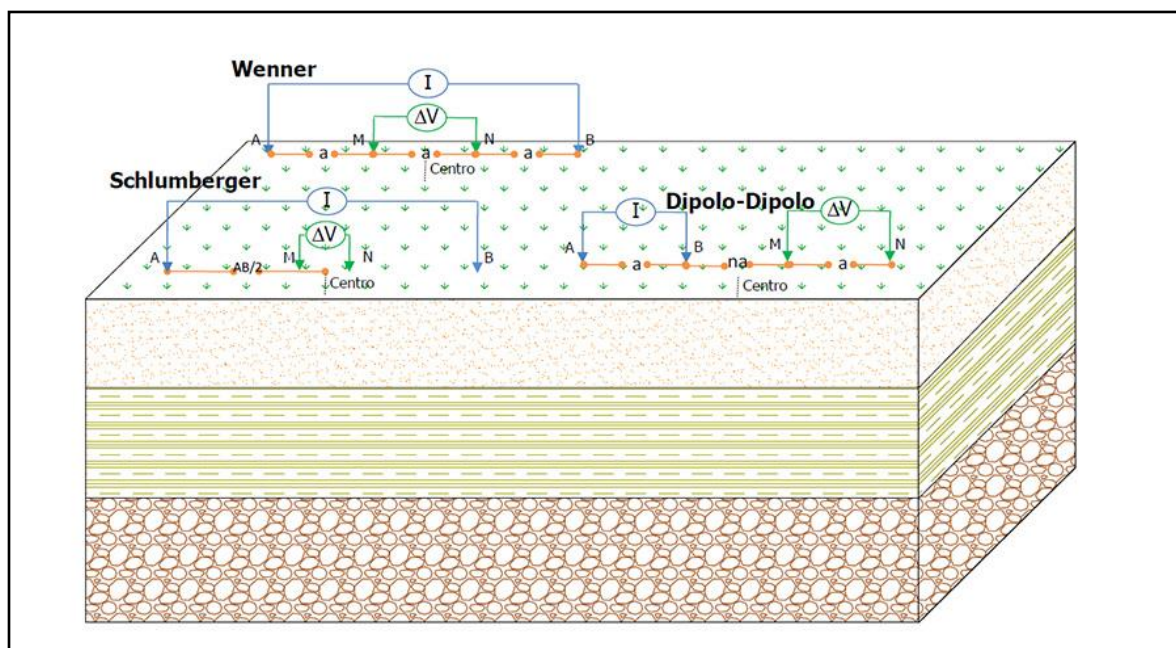
[34] LOPEZ, A., LOKE, M., FANTON, G., RUBI, E. Técnicas prácticas para investigación de resistividad en dos y tres dimensiones (tomografía eléctrica 2D y 3D). Universidad Nacional de San Juan. Argentina.

[35] Ibid. p. 27.

[36] Ibid. p. 20.

de empalme o punto doble donde se busca hacer una recuperación de la medida de potencial para valores de P1-P2 muchos mayores a C2-C1. Con este método logra mayor profundidad que pero su resolución horizontal es menor [37].

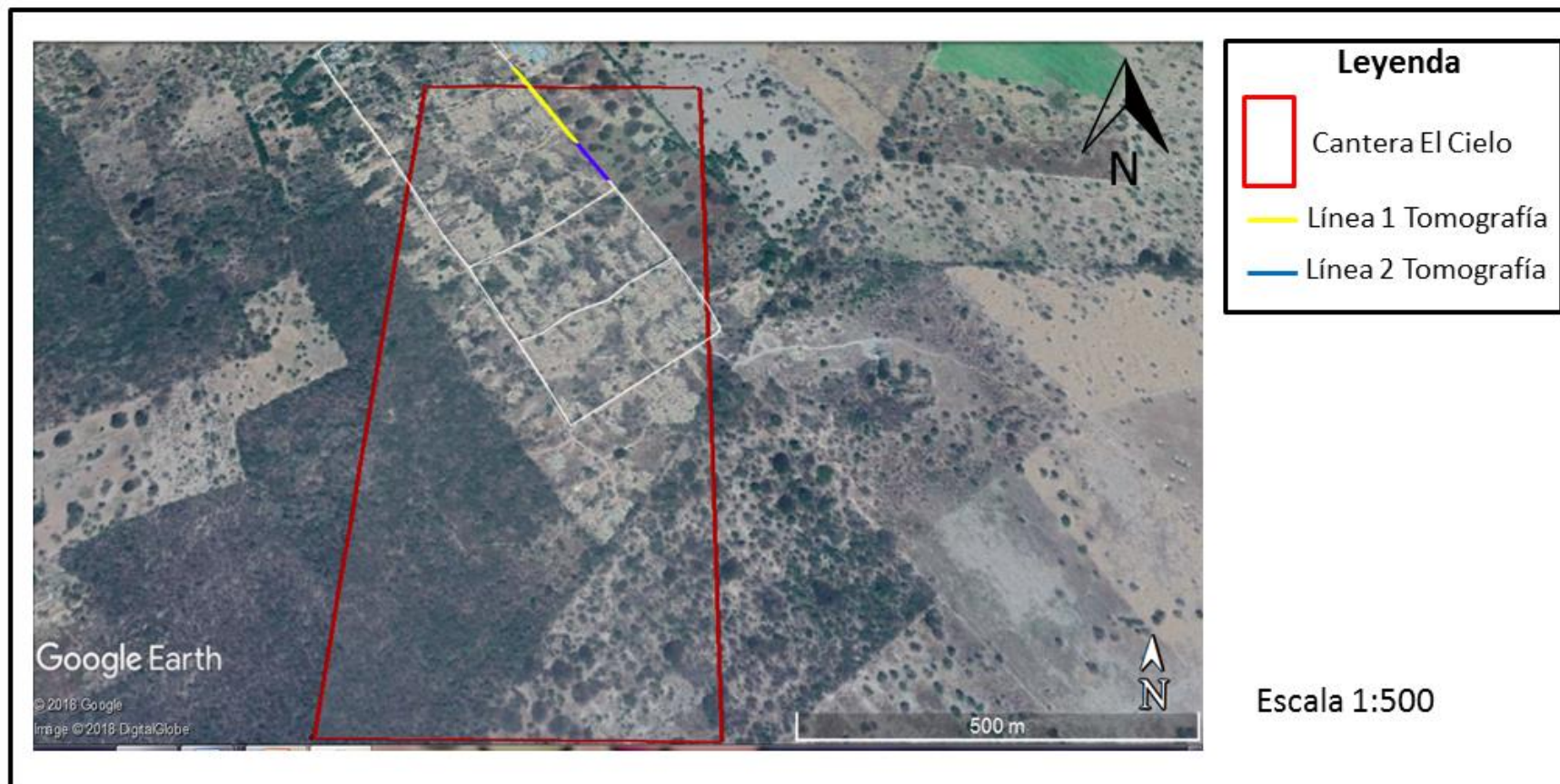
Figura 22. Distribución de los electrodos por los métodos Schlumberger y Dipolo-Dipolo. Fuente: Epyesa.



A continuación, se presentan los resultados obtenidos por medio de la tomografía eléctrica aplicando el método Schlumberge el cual es sensible a variaciones verticales y horizontales. Y el método Dipolo-dipolo que es más sensible a cambios laterales, donde son interpretados a partir de ellos rasgos representativos de la zona. La ubicación de las líneas de tomografía eléctrica en el área se muestra en la figura 23.

[37] Ibid. p. 22.

Figura 23. Ubicación de las líneas utilizadas en la tomografía eléctrica, la línea amarilla corresponde a la tomografía N°1 y la línea azul es la tomografía N°2. Fuente: Google Earth.



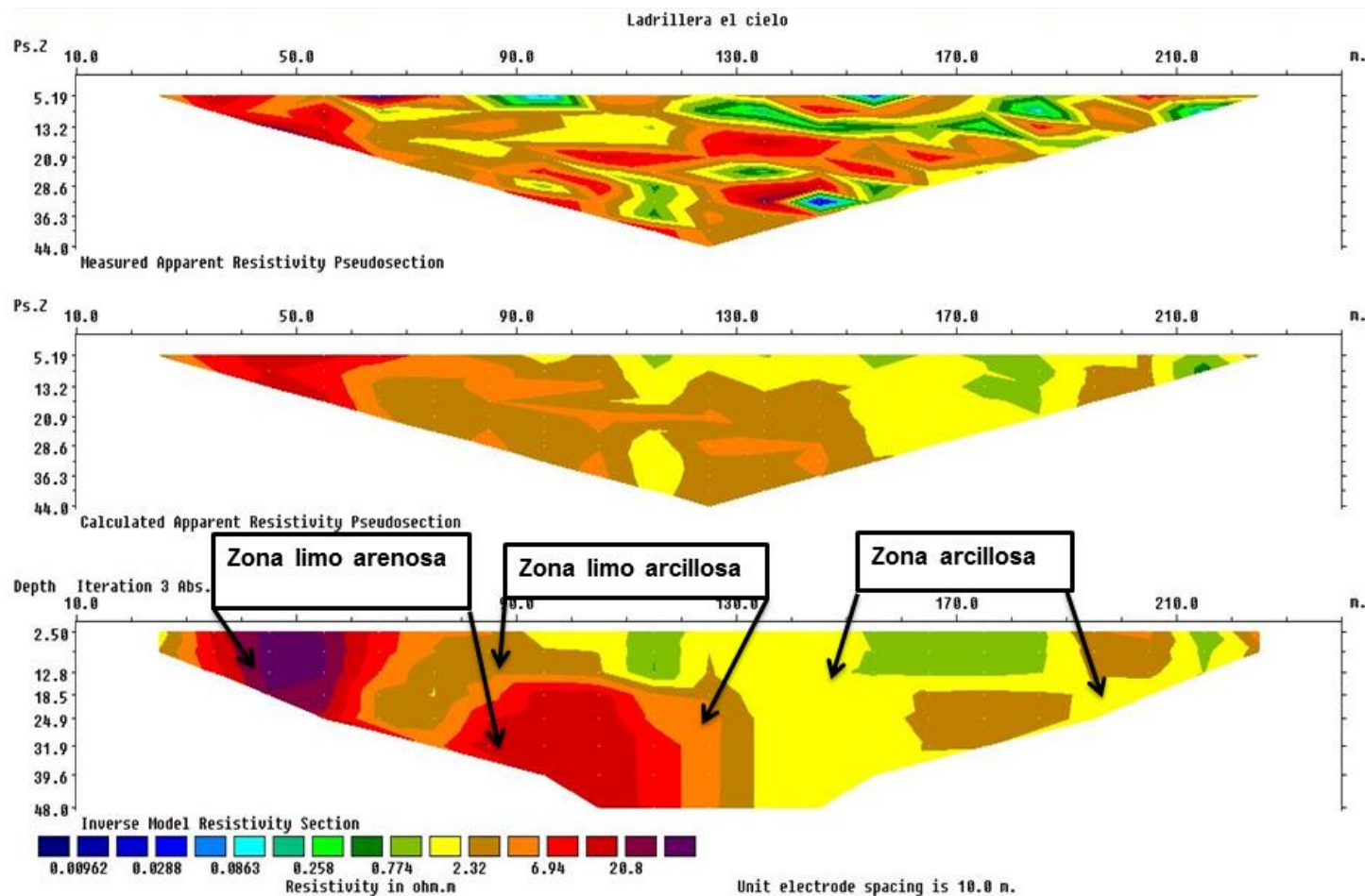
7.3.1 Perfil de tomografía de resistividad eléctrica N° 1

Este perfil se realizó con una longitud de 230 metros y a una profundidad de 48 metros, con una configuración Schlumberge (figura 24).

De acuerdo a la escala de colores que representan los cambios de resistividad en este perfil, a lo largo del registro se observan zonas con valores de resistividades bajas de 2 a 3 Ohm-m que indican material totalmente arcilloso (color amarillo a café) entre los 140 y 220 metros de longitud, alcanzando profundidades hasta de 48 metros. Mientras que hacia los 30 hasta los 70 metros de longitud se aprecia una zona limo arenosa saturada con resistividades más altas entre los 8 a 20 Ohm-m (color rojo a morado).

Alrededor de los 75 hasta los 120 metros de longitud se aprecia una zona limo arcillosa saturada con resistividades 4 a 6 Ohm-m (color naranja a café).

Figura 24. Perfil de tomografía de resistividad eléctrica N° 1. Fuente: Autora.

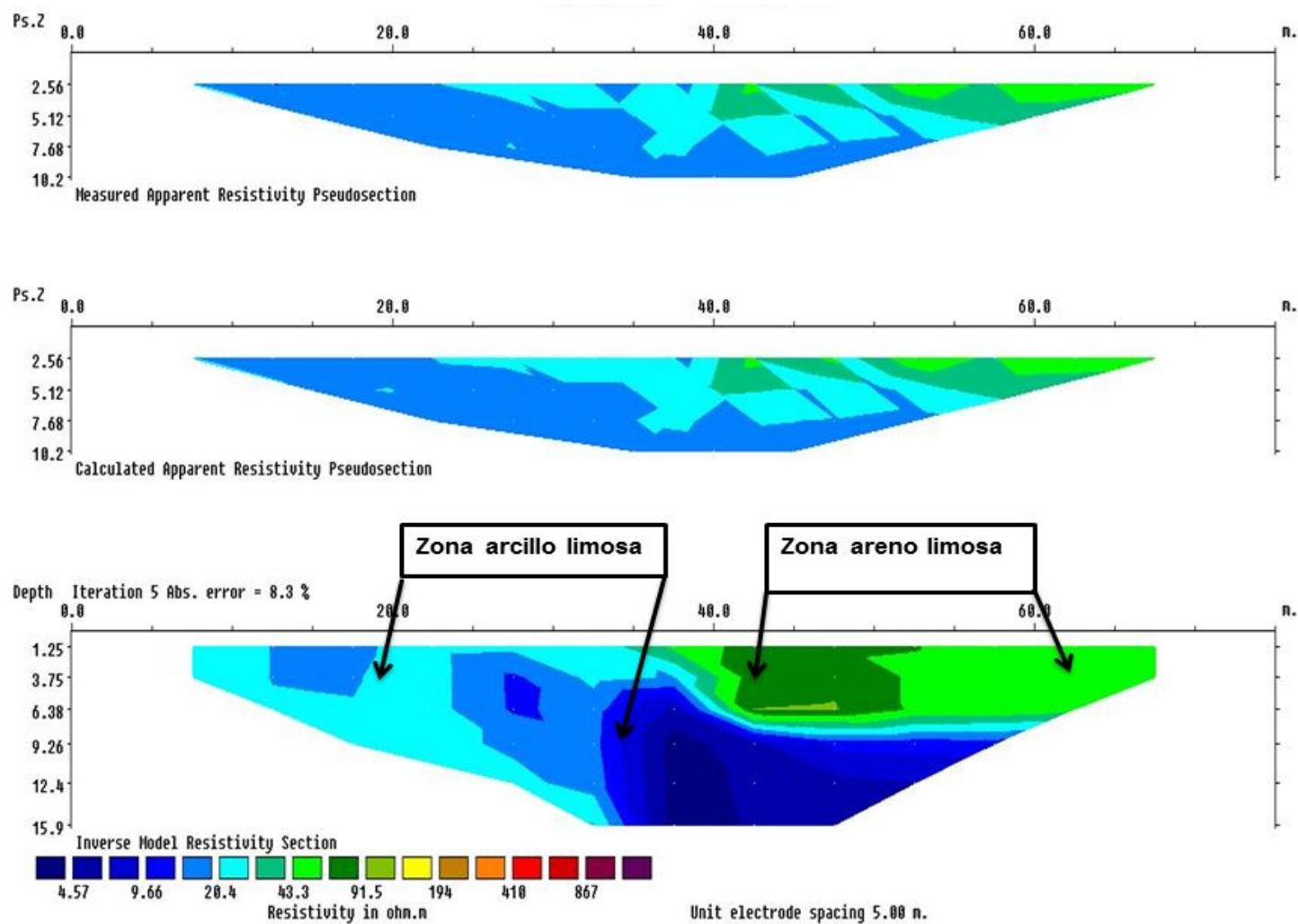


7.3.2 Perfil de tomografía de resistividad eléctrica N° 2

Este perfil se realizó con una longitud de 80 metros y a una profundidad de 16 metros, con una configuración Dipolo-dipolo (figura 25).

Siguiendo la escala de colores que representan los cambios de resistividad en este perfil, entre los 35 y 65 metros de longitud indica una zona areno limosa y saturada con unas resistividades medias que van desde los 45 a los 95 Ohm-m (color verde claro a oscuro). Hacia los 8 hasta los 35 metros de longitud se presenta la zona arcillo limosa con unas resistividades entre 4 y 25 Ohm-m (color azul claro a oscuro). Cabe resaltar las recientes lluvias en el sector que influye en la resistividad de los materiales.

Figura 25. Perfil de tomografía de resistividad eléctrica N° 1. Fuente: Autora.



En campo se presentan evidencias de que la distribución de las arcillas en el área no es homogénea ya que hay zonas más arcillosas que otras y son notorias porque cuando llueve el agua tarda hasta un mes en ser absorbida como se muestra en la figura 26, mientras que hay otras zonas menos arcillosas que máximo tarda entre uno y dos días la absorción del agua. Además, el proceso de secado de ladrillos en zonas muy arcillosas muestra otra evidencia ya que el ladrillo queda cuarteado, mientras que en zonas con menos cantidad de arcilla el secado ocurre de manera normal.

Las zonas más arenosas mostradas en el perfil de tomografía N° 1 son también evidenciadas en superficie por medio de los testimonios de los alfareros como también por la evidencia de una zona arenosa donde ellos cavan hasta 5 metros y sigue presentándose arena lo que los obliga a abandonar ese tramo o utilizar esa arena para mezclarla con los frentes muy arcillosos para así cumplir con la relación arcilla-arena, donde si no hay suficiente arcilla en la mezcla no hay cohesión en las partículas, generando que se desmorone el ladrillo y si no hay suficiente arena, como consecuencia el ladrillo se fisura por la contracción de la arcilla durante el proceso de secado.

Siguiendo la interpretación del perfil de tomografía N ° 1 se observa que esa zona arenosa antes mencionada cuenta con un espesor de 18 metros, mientras que hacia el perfil N° 2 el estrato areno limosos presenta un espesor de 6 metros.

Cabe resaltar que los espesores de las arcillas son más considerables ya que en perfil de tomografía N° 1 se aprecian espesores máximos de 48 metros y en el perfil de tomografía N° 2 estas alcanzan espesores hasta de 16 metros.

Figura 26. Agua estancada en frentes muy arcillosos debido a la lluvia en el área de explotación.



7.4 CALCULO DE RECURSO

En el título minero se calcularon recursos inferidos, debido a que se puede estimar el tonelaje pero con bajo nivel de confianza ya que no se cubre todo el título minero con la tomografía realizada, no existen pozos de perforación y no hay suficiente información para correlacionar las capas del aluvial, así que la información es limitada. Por tanto se infiere por la evidencia geológica observada por medio de este método geofísico, pero no se verifica la continuidad geológica lateral.

Para ello se tuvo en cuenta el área total del título que es de 550.000 m², por medio los perfiles obtenidos con la tomografía eléctrica se obtuvo un espesor la

arcilla del aluvial que corresponde a 15 metros. Por tanto, a partir del producto de estos dos datos se obtiene el volumen.

La densidad de la arcilla del aluvial fue determinada en campo en la zona donde se llevó a cabo la tomografía eléctrica siguiendo la metodología implementada por la norma I.N.V.I. E-161. Una vez obtenido el volumen y la densidad de la arcilla del aluvial estos valores se multiplican permitiendo obtener las toneladas disponibles en el área abarcada por el título en concesión como se muestra en la tabla 9.

Tabla 7. Datos implementados en el cálculo de recurso.

AREA (m ²)	ESPESOR (m)	VOLUMEN (m ³)	DENSIDAD (g/cm ³)	TONELADAS (Ton)
550.000	15	8.250.000	0,956	7.887.000

8. CRONOGRAMA

Las diferentes actividades llevadas a cabo para el desarrollo del proyecto se efectuaron en una duración de seis meses, abarcados desde enero hasta junio del 2018, como se presentan en la tabla 9.

Tabla 8. Cronograma de actividades llevadas a cabo durante el proyecto.

ACTIVIDADES	PERÍODO:2018-1															
	MES:1				MES:2				MES:3				MES:4			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
REVISION BIBLIOGRAFICA																
VISITA TECNICA CANTERA EL CIELO																
TOMA DE MUESTRAS																
REUNIONES CON EL ASESOR																
ENVIO DE ADELANTOS AL ASESOR																
TOMOGRFÍA ELÉCTRICA																
ACTIVIDADES	PERÍODO:2018-1															
	MES:5				MES: 6				MES:				MES:			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
REUNIONES CON EL ASESOR																
ANALISIS GRANULOMETRICO Y LÍMITES DE ATTERBERG																
TOMOGRFÍAELÉCTRICA																
INTERPRETACION DE RESULTADOS																
REDACCION DEL INFORME																

9. LOGROS ALCANZADOS

Los logros alcanzados se presentan en la tabla 10, representado en porcentajes el cumplimiento obtenido para cada uno de los objetivos planteados para el desarrollo del proyecto.

Tabla 9. Logros alcanzados durante el desarrollo del proyecto.

OBJETIVOS	20%	40%	60%	80%	100%
Determinar los espesores de las capas de arcilla, por medio de tomografía eléctrica.					
Identificar las propiedades físicas de las arcillas presentes en el área de estudio.					
Calcular los recursos de arcillas disponibles dentro del título minero.					

9.1 IMPACTOS PERCIBIDOS POR EL ESTUDIANTE

Entre los aportes y beneficios que la realización de la práctica me aportó a nivel personal, académico y laboral están que me permitió completar mi formación como profesional, acercarme a la vida laboral, cumpliendo horarios, realizando labores y participando en actividades a cargo de la oficina ambiental de la alcaldía. Personalmente tuve la oportunidad de relacionarme con profesionales, conocerlos

al igual que a sus experiencias de vida y laborales que me ayudaron a ser perseverante, además de compartirme su conocimiento y darme a conocer cuáles son las funciones que se deben desempeñar y como dar solución a temas mineros y ambientales.

9.2 LIMITACIONES

La mayor limitación para el desarrollo de este proyecto fue contar con la disponibilidad del equipo de tomografía eléctrica que ofrece la universidad y la restricción de transporte brindado por la alcaldía dada la poca contratación.

10.CONCLUSIONES

- ✓ Los espesores de arcillas varían en el área, debido la distribución del material no es homogénea. En el perfil de tomografía N°1 se muestra que la zona cuenta con un espesor de hasta de 15 metros de material arcilloso. Mientras que en el perfil de tomografía N°2 se una zona arcillo limosa que cuenta con hasta con 12 metros de espesor.
- ✓ A partir de los límites de consistencia aplicados a las muestras recolectadas, se determinaron frentes arcillosos de baja plasticidad (CL) según la carta de plasticidad de Casagrande. Como lo es la muestra KDD-01 y KDD-02. Como otras en las que hay mayor presencia de limos, como en la muestra KDD-03, dando como resultado limos de baja plasticidad (ML).
- ✓ Los recursos inferidos en el titulo minero 164-20 corresponden a 7.887.000 Ton para un espesor de 15 metros teniendo en cuenta el perfil N° 1 determinado por medio del método de tomografía eléctrica.

11.RECOMENDACIONES

Como recomendación, se sugiere caracterizar las diferentes capas del aluvial para identificar las zonas de mayor interés. Además, se recomienda ampliar los estudios enfocados en conocer los espesores del aluvial ya que esta información permite estimar las reservas disponibles en el área y organizar un plan minero que permita aprovechar las zonas favorables adecuadamente así como determinar la vida útil de la cantera.

REFERENCIAS

ÁLVARO R. QUINTANA BERLANGA (2013), Aplicación de la Tomografía Eléctrica en la Caracterización del Deslizamiento de Doña Mencía, Universidad de Granada. España.

ARIAS, D. Exploración geotécnica- Relaciones geoelectricas. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2011. P.19.

AYALA, ROSA; BAYONA, GERMAN. Estratigrafía y procedencia de las unidades comprendidas entre el Campaniano y el Paleógeno en la subcuenca de Cesar: aportes a la evolución tectónica del área. Geología Colombiana, Volumen 34, p. 3-34, 2009.

BARRIGA R., Annelise. (2017). Desempleo en Valledupar está por encima del promedio nacional. Lugar de publicación: El pilón. Recuperado de: <http://elpilon.com.co/desempleo-valledupar-esta-del-promedio-nacional/>.

BOWLES, J.E. Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil (Biblioteca Ingeniería Civil).

CONTRALORIA MUNICIPAL DE VALLEDUPAR.(2012). Informe del estado de los recursos naturales y del ambiente del municipio de Valledupar. Recuperado de:http://www.contraloriavalledupar.gov.co/CMV/DescargasCMV/Informes_Macro/INFORME_AMBIENTAL_2011_MUNICIPIO_DE_VALLEDUPAR.pdf.

CORPOCESAR (2009). Evaluación del potencial del agua subterránea en los municipios de Curumani, Pailitas, Tamalameque, Pelaya, La Gloria, Gamarra, Aguachica, Rio de Oro, San Martín y San Alberto, Departamento del Cesar; p. 62.

CORPOCESAR (Junio, 2007), evaluación del potencial del agua subterránea para riego de los sistemas acuíferos cono aluvial y llanura aluvial de Valledupar, departamento del cesar; p 107.

GONZALEZ DE VALLEJO, Luis, FERRER, Mercedes, ORTUÑO, Luis, OTEO, Carlos. Ingeniería Geológica. En: Pearson Education. Madrid, 2002; p 22-24.

INGEOMINAS (Marzo, 2010), Cartografía geológica y muestreo geoquímico de la parte norte de la serranía de Perijá planchas 21, 22, 27, 28, 34 Y 35.

INSTITUTO NACIONAL INVIAS, Determinación del líquido líquido de los suelos INVIAS, 2012. (INV E-125-13).

INSTITUTO NACIONAL INVIAS, Densidad y peso unitario del suelo en el terreno por el método del cono y arena. INVIAS, 2012. (INV E-161-13).

INSTITUTO NACIONAL INVIAS, limite plástico e índice de plasticidad de los suelos. INVIAS, 2012. (INV E-125-13).

REY, J., MARTÍNEZ, J., MESA J., HIDALGO, M., Y BENAVENTE, J. (2015), Utilización de la tomografía eléctrica para la ubicación de reservas mineras. Aplicación a un yacimiento de ofiolitas en la depresión del Guadalquivir (Jaén, Sur de España). Geogaceta, 58, 127-130. Recuperado de: <http://rabida.uhu.es/dspace/bitstream/handle/10272/12074/Utilizacion.pdf?sequence=2>.

OCSA, Estudios Geofísicos S.L. Método de tomografía eléctrica (2016). Recuperado de: <http://www.ocsa-geofisica.com/tomografia-electrica.html>.

ANEXOS

Anexo 1. Área donde se realizó la tomografía. Las líneas rojas indican donde fueron puestos los electrodos. Las flechas amarilla y azul indican que a ambos lados del vehículo se llevó a cabo el método. Resaltando que cada línea fue independiente de la otra.

